

BİLGEM Teknoloji

EYLÜL 2022 SAYI: 13


TÜBİTAK
BİLGEM

TÜBİTAK BİLGEM
Kurumsal Dergisi.
Yılda 2 kez yayınlanır.
Parayla satılmaz.

RADAR TEKNOLOJİLERİ



BU BİR PROJE
TANITIMIDIR



İ M Z A G E R

K U R U M S A L

Elektronik belgelerin, 5070 Sayılı e-İmza Kanunu'na uygun olarak Zaman Damgalı (ES-T) veya Uzun Dönemli (ES-X Long) imza ile imzalanmasını ve elektronik belgelere atılmış olan imzaların görüntülenip doğrulanmasını sağlayan bir masaüstü uygulamasıdır.

ÖZELLİKLER

- RSA veya Eliptik Eğri (EC) anahtarlı sertifikalar ile imza oluşturma ve doğrulama
- Seri ve Paralel imza desteği
- Ayrık ve Tümlü imza oluşturabilme
- PKCS #11 uyumlu akıllı kartlar ve Donanım Güvenlik Modülleri (HSM) ile çalışabilme
- EYP 2.0 desteği ile elektronik mühürlü e-yazışma paketi oluşturabilme
- Çoklu platform desteği (Windows, Linux, Mac OS)

DESTEKLENEN STANDARTLAR

- ETSI TS 101 733 CAeS
- ETSI TS 101 903 XAdES
- ETSI TS 102 779 PAdES
- E-Yazışma (EYP) v1.3 ve v2.0
- RFC 5280 Sertifika Doğrulama
- X.509 v2 Sertifika İptal Listeleri (CRL)
- RFC 2560 / RFC 6960 Çevrimiçi Sertifika Durum Protokolü (OCSP)
- RFC 3161 Zaman Damgası



BİLGEM

www.bilgem.tubitak.gov.tr

BİLGEM
Teknoloji



BAŞKANDAN

Merhaba

Radar birçok farklı tipteki hedefin uzun menzilden tespit edilmesi, izlenmesi, sınıflandırılması ve kimliklendirilmesi gibi görevleri yerine getiren elektromanyetik bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kızılötesi ve optik sensörlerle karşılaştırıldığında, gece/gündüz şartlarında ve kötü hava koşullarında da uzun menzilden hedefleri tespit edebilmeleri, bu sistemleri ön plana çıkarmaktadır. 2. Dünya Savaşı'nda hava ve deniz tehditlerinin uzaktan tespitini mümkün kılarak akustik tespit sistemlerinin yerini almış ve savaşın seyrine önemli etkileri olmuştur. Savaşın bitişiyle birlikte askeri alandaki vazgeçilmezliğinin yanı sıra sivil alanlarda da yadsınamaz avantajları hızla fark edilmiş ve katı-hal güç yükselteç teknolojilerindeki muazzam ivme ile hayatımızın her alanında karşımıza çıkmaya başlamıştır.

Halihazırda hedeflerin radar kesit alanlarının küçülmesi, alçaktan/düşük hızda uçan veya çok yüksek/süpersonik tehditlerin gelişmesi ile birlikte radarların askeri alandaki önemi ve kritikliği her geçen gün artmaktadır. Ayrıca hava trafiği kontrolü, uçak ve gemi navigasyonu, uzay gözlem, otonom sürüş, sağlık, arkeoloji, meteoroloji gibi pek çok sivil alanda zenginleşen uygulama imkânı, radarın etkin bir araştırma ve geliştirme konusu olarak kalmasını sağlamaktadır. Radar, boyut olarak küçülmesi ve teknolojik kabiliyetlerinin artması ile yaşamın her alanına yayılmakta, 1900'lerin başında ilk kez kullanıldığında hayal bile edilemeyecek konularda insanlığa faydalar sağlamaktadır.

BİLGEM ve RADAR Teknolojileri

BİLGEM olarak 15 yılı aşkın bir süredir, ülkemizin askeri ve sivil alanda ihtiyaç duyduğu radar teknolojileri için özgün komponent, modül, alt-sistem ve sistemleri geliştirerek, kritik teknolojilerin ülkemize kazandırılması konusunda önemli görevler üstlenmekteyiz. Askeri ve sivil kurumlarımızca bildirilen ihtiyaçlar doğrultusunda, yerli şirketlerimizle koordinasyon ve iş birliği halinde milli çözümler

üretiyoruz. Bünyemizde bulunan BTE Sensör ve Radar Teknolojileri Enstitü Yardımcılığı altındaki bölümlerimizde radar sistemlerinin özgün algoritma, yazılım, RF donanım ve anten bileşenlerinin tasarım ve geliştirilmeleri yapılmakta, sistem olarak entegre edilerek saha kurulumları gerçekleştirilmektedir.

DHMI ile uzun süredir var olan iş birliği kapsamında, hava trafik yönetiminde kullanılan Milli Gözetim Radarı (MGR), uçuş güvenliğinin sağlanmasına yönelik geliştirilen Kuş Tespit Radarı (KUŞRAD) ve Yabancı Madde Tespit Radarı (FODRAD), Mobil Sahil Gözetleme Sistemi (MSG) gibi pek çok özgün radar sistemi, BİLGEM tarafından geliştirilerek saha kurulumları gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen radar sistemlerinin yaygınlaştırılması amacıyla yerli firmalar ile iş birliklerine gidilmekte ve ürünlerin teknoloji transferleri yapılmaktadır. Ayrıca yerli radar sistemlerinde kullanılmak üzere yağış kestirim, rüzgâr türbin etkisi giderme, kuş sürüşü etkisi eleme gibi çeşitli algoritma ve yazılımlar ilgili birimlerimizde geliştirilmiş ve paydaşlarımıza teslim edilmiştir.

Ek olarak, bünyemizdeki Tümdevre Tasarım ve Eğitim Laboratuvarı (TÜTEL) ile Yarı İletken Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda (YİTAL) var olan entegre tasarım ve üretim kabiliyetleri ile millileştirme düzeyimizi entegre seviyesinde kazanma çalışmalarımız hızlanmıştır. Bu alandaki çalışmalar ile üretilen radarın entegreden sisteme kadar tüm bileşenlerinin yerli imkânlarla geliştirilmesi ve kritik radar teknolojisinde dışa bağımlılığın azaltılması en önemli hedeflerimiz arasındadır.

Dergimizin bu sayısında radar sistemleri ile ilgili kapsamlı bir dosya oluşturduk. Emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bir sonraki sayımızda buluşmak üzere, sağlıklıcalıkla kalın.

Dr. Ali Görçin



İÇİNDEKİLER



01 BAŞKANDAN

04 Röportaj

“Ödün vermediğimiz en önemli nokta: YERLİLİKTİR”

10 Radar Sistemleri

16 Tasarımdan Ölçüme Antenlere Genel Bakış

22 Geniş Frekans Bantlı RF Alıcı Donanımları

28 Radar Sistemlerinde Vakum Tüp Teknolojileri

34 Radar Görünmezlik Teknolojileri

40 FOD Tespit Radarı

46 Hedef Tanımda Derin Öğrenme

50 İyi Tespit İyi Takip Radarda Kargaşa

56 Çok İşlevli Faz Dizili Radarlar

60 İHA Tespitinde Radar Uygulamaları

66 Hava Trafik Kontrol Radarları

72 Yere Nüfuz Eden Radar Teknolojisi

76 Yüzey Dalgalı Yüksek Frekans Radarları

78 Pasif Radarlar

82 Radar Taarruz ve Korunma

86 Kriptografik Modüller İçin Güvenlik

88 Açık Kaynak Teknolojileri

94 Ne Kadar Medeniyiz ?

96 Portre

“İyi Ki Ar-Ge’ci Olmuşum”

100 Şiir

İğne

Danışma Kurulu:

Celal Mızrak
Sadullah Uzun
Dr. Demet S. Armağan Şahinkaya
Erdal Bayram
Erkan Dilaveroğlu
Ayşe İnanç
Yakup Serdar Birecik
Dr. Çağatay Karabat
Prof. Dr. Ahmet Yozgatlıgil
Prof. Dr. Alikram Nuhbalaoğlu
Gürcan Okumuş
İsmail Doğan
Doç. Dr. Mesut Gökten
Dr. Mustafa Çetintaş

Sahibi
(TÜBİTAK BİLGEM adına):
Dr. Ali Görçin

Genel Yayın Yönetmeni:
Mehmet S. Ekinci

Yazı İşleri Müdürü (Sorumlu):
Dr. Aziz Ulvi Çalışkan

Yayın Kurulu:
Dr. Aziz Ulvi Çalışkan
Bilal Kılıç
Erkan Yalçın
Fahrettin Tarhan
Dr. Hamza Özer
Mehmet Sait Ekinci
Dr. Tayfun Aytaç

İletişim Adresi:

BİLGEM Teknoloji Dergisi
P.K. 74, 41470 Gebze KOCAELİ

Telefon:
(0262) 648 1000

Web:

www.bilgem.tubitak.gov.tr

E-posta:

bilgemteknoloji@tubitak.gov.tr

Baskı:

Özlem Matbaa

Tel: (0212) 501 66 00

Baskı Tarihi:

Eylül 2022

ISSN 2717-9273

Dergide yayınlanan yazı ve görsellere kaynak gösterilerek atıfta bulunulabilir. Dergide yayınlanan yazıların sorumluluğu yazarına aittir, TÜBİTAK BİLGEM sorumlu tutulamaz. BİLGEM Teknoloji Dergisi, Basın Ahlak Yasası'na uymayı taahhüt eder.

BİLGEM ulusal bazda vazgeçilmez bir teknolojik paydaştır, uluslararası platformda ise rekabetçi bir radar geliştirme merkezidir.

sistemleri prototiplerinin başarıyla tamamlanması sonrası KUŞRAD Atatürk Havalimanı'na, MGR ise Gaziantep'e kurulmuştur. Bunların akabinde yine DHMİ'nin geliştirme işini BİLGEM'e verdiği FODRAD Antalya Havalimanı'na kurulmuştur. FODRAD havalimanı pisti üstüne düşen yabancı maddeleri pisti tarayarak buluyor. W bandında bir çözüm ve çok hassas, civata büyüklüğünde nesnelere 4 km'lik pist üstünde konumlandırabiliyor. Bu cisimler tespit edilemez ise uçak motorlarına ciddi zararlar verebilir. Deniz kuvvetlerinin ihtiyacına binaen Mobil Sahil Gözetleme Sistemi (MSGGS) pratik ve mobil bir çözüm. S bandında ve darbe radarı. Bence geleceğin sahil gözetleme konseptine attığımız önemli bir adım.

Sahil gözetleme demişken, yüzey dalgalı yüksek frekans (YDYFR) radarımızdan da bahsetmemek olmaz. HF bandındaki bu yüzey dalgalı radarımız ufuk ötesi deniz hedeflerinin tespiti için avantajlar sunan ve deniz kuvvetlerinin önemli bir ihtiyacını karşılayacak olan bir çözüm. Tabii irili ufaklı birçok yazılım ve algoritma geliştirmesini de paydaşlarımız için yapıyoruz. Hepsisi önemli işler ama son dönemde bir adım daha atarak iddialı geliştirmelere kolları sıvıyoruz. Bunlardan biri Multi Statik Radar geliştirme projesi. Özellikle konseptin denenmesi ve başarımının

gösterimi ile beraber önemli bir stratejik üstünlüğe imza atacağız. RKA'sı azaltılmış, mono statik radar ile tespiti zor hedefler multi statik radarlara karşı savunmasız. Bu ciddi bir avantaj sağlayacak. Faz dizili radarların yapı taşları ve mimarilerini geliştirdiğimiz iç projemiz gayet iddialı. Hedefimiz modüler ve uyarlanabilir şekilde geliştirilecek aktif elektronik taramalı bir mobil radar prototipi. Paydaşlarımızın ciddi oranda istifade edebileceği bir çalışma olacak. Özellikle İHA tehdidine karşı temel çalışmalarını yürütecek İHA Parmak İzi ve Tehdit Analiz Laboratuvarımızı (İHA PİTAL) bu sene faaliyete geçiriyoruz. RF Teknolojileri ve Anten Teknolojileri bölümlerimizde yaptığımız modül, alt-sistem geliştirmeleri çok uzun bir liste, tek tek saymak bu röportaj kapsamına sığmayacak. Daha birçok alanda projelendirme çalışmalarımız sürüyor. Metamateryal radar ve Kuantum radar bunlardan birkaçı.

Türkiye'nin önemli bir Ar-Ge Merkezinin yöneticilerinden biri olarak sizin için 'Ar-Ge' ne ifade ediyor?

Araştırma ve Geliştirme her şeyin merkezinde. Belki eskiden iş modelleri kar elde etmek için tedarik zincirinde araştırma ve geliştirme olmadan da başarılı olabiliyordu ama sınırların belirsizleştiği, rekabetin dünya çapına yayıldığı günümüzde araştırma ve geliştirme olmadan yüksek

karlılığı sağlamak mümkün değil. Belki buna marka sahibi olma ve maliyet etkin üretimi de eklemek lazım ama bu kavramların da altında inovasyon ve teknoloji yatıyor. Artık verimliliği 20. Yüzyılın kavramları ile açıklayamıyoruz. Orta gelir tuzağına yakalanan ülkelerin uzun vadede elde ettikleri kişi başına gelir seviyesini dahi koruyamadıklarını görüyoruz. İşin temeli rekabet edebilmek. Eskiden düşük maliyet rekabet etmek için belki etkin bir yoldu. Hala da önemli ama artık denklemde yeni parametreler var. İnovasyon, teknoloji, tasarım ve marka artık kavram olmaktan meta olmaya daha yakınlar. Hepsinin temelinde Ar-Ge var. Bence Ar-Ge tüm bunların emek yoğun kısmını temsil ediyor. Masa başında, laboratuvarında, sahada daha iyisini başarmak için dökülen alın terini ifade ediyor. Hani emek olmadan yemek olmaz denir ya, Ar-Ge işin emek kısmı ve bu zorluğa katlanmak istemeyen kurumların kolay kazanç elde etme dönemi çoktan geride kaldı. Peki BİLGEM Ar-Ge'nin neresinde ve neyi temsil ediyor? BİLGEM bir kamu kurumu olarak Ar-Ge süreçlerinde yol gösterici ve destekleyici olup, ihtiyaç duyan paydaşlarına balık tutmayı öğretmek zorundadır. İhtiyaç duyan paydaşlarına balık tutmayı öğretmek zorunda. Bunun çaresi Ar-Ge yolunda beraber yürümek. Paydaşlarımızla bu yolu beraber yürümek için gerekli tüm enstrümanların doğru akort edilmesine çok ihtiyaç duyuyoruz.

dırma ve Pasif radar uygulamaları portfolyomuzun dışına değil. Tecrübeli ekibimiz tüm bu yeni konseptleri hızlıca prototiplemektedir. Tekrar vurgulamam gerekirse ödün vermediğimiz en önemli nokta yerlilik. Yakın dönemde tüm bu ileri teknoloji geliştirme projelerini gerçekleştirerek paydaşlarımızı dışa bağımlılıktan kurtarmayı hedefliyoruz. Geliştirdiği çözümler ve misyonu düşünüldüğünde BİLGEM ulusal bazda vazgeçilmez bir teknolojik paydaştır, uluslararası platformda ise rekabetçi bir radar geliştirme merkezidir.

Kurumda bu alanda tamamlanan ve sürdürülmekte olan projelerle ilgili kısa bilgi verebilir misiniz?

BİLGEM'de radar geliştirme süreci gemi ve sahil gözetleme radarları ile başlıyor. 2005 senesinde Deniz Kuvvetleri'nin ihtiyacına binaen çalışmalar başlıyor. Bu süreçte GEMRAD ve SAGRAD geliştirilen çözümlerimiz. Başlangıçta deneyimli bir RF ve o günlerde kurulan anten grubu işin çekirdeğini oluşturuyor. Çalışmalarda kısa bir yavaşlamadan sonra 2010 senesinde DHMİ'nin havalimanları çevresindeki kuş ve kuş sürüsü hareketliliğini tespit eden radar geliştirme projesini BİLGEM'e vermesi sonucunda KUŞRAD ve aynı proje içinde yer alan bir birincil gözetleme radarı MGR (Milli Gözetim Radarı) radar konusundaki çalışmaları tekrar tetikliyor. Aslında Radar Teknolojileri Bölümü bu projelerin alınması ile kuruldu. KUŞRAD sistemi iki adet radardan oluşuyor. S bant bir darbe radarı ile X bant bir FMCW radar. Toplamda sistem kuş ve kuş sürülerini üç boyutlu olarak konumlandırabiliyor. MGR bir katı hal S bant darbe Doppler gözetleme radarı olup, ana işlevi hava trafiğini gözetlemektir. KUŞRAD ve MGR





Birimlerinizde ihtiyaç duyduğunuz çalışan profili hakkında bilgi verebilir misiniz?

BİLGEM bir Ar-Ge kuruluşu. Ar-Ge süreçleri uzun ve zor deneyimler. Belki de en temelinde azim gerekli tüm bu zorlu süreçlerle başa çıkmak için. Azim ise bir amaç sahibi olunur ise sürekli olabiliyor. Ar-Ge'nin temel amacı rekabettir. Mevcut veya yeni sorunlara daha iyi çözümler bulmak için çalışmaktır. Her gün işe gelip masamızın başına oturduğumuzda bu rekabetin ve mücadelenin farkında olabilmektir. Çalışanlarımızın bu bilince sahip olması çok önemli. Bu rekabet içinde dürüst olmaları, bir takımın parçası ve takım oyuncusu olmaları gerekli. En önemlisi bu rekabetten ve zorlukları aşmak için gerekli mücadeleden keyif almaları. Bu mücadeleden keyif almazlar ise

yapacakları en iyi seçim Ar-Ge'den uzak durmak olacaktır. Tabiki bilgi birikimi önemli, iyi bir eğitim almış olmak önemli, deneyim önemli ama Ar-Ge için yeterli değil. **Başarısız olsanız da devamlı denemek demek Ar-Ge.** Bu işin mutfağında, gözlerden uzakta, geri planda kalmak demek çoğu zaman. Yaptığınız işten tatmin olmanızın yolu ancak meraklı olmaktan ve işinizi severek yapmanızdan geçiyor. Özetlemek gerekirse çalışanlarımızda aradığımız gerekli özellikler, gerekli eğitimi almış olmanın yanı sıra dürüst, rekabetçi ve azimli olmaları, takım oyuncusu olmaları ve Ar-Ge süreçlerini özümseyip belirsizlik ve zorlukları ile beraber sevebilmeleri.

D İ R A K | N H S M

Şifreleme, imzalama, imza doğrulama, özet alma gibi kriptografik işlemleri, ağ üzerinden yüksek performansla ve güvenli olarak gerçekleştirmek üzere geliştirilmiş bir cihazdır. İşlemlerde kullanılan anahtarların fiziksel saldırı korumalı kriptografik sınır içerisinde saklanması neticesinde, bu hassas varlıklar için yüksek güvenlik sağlar. İlkendirme, yedekleme, yazılım güncelleme, kullanıcı doğrulaması gibi kritik güvenlik işlemlerini milli akıllı kart işletim sistemi AKİS tabanlı yetki ve kimlik doğrulamasından sonra gerçekleştirmektedir. Cihaz, bünyesinde barındırdığı milli rastgele sayı üretici ile de anahtar üretimine milli bir çözüm sunmaktadır.



KRİPTOGRAFİK ÖZELLİKLER

- RSA, ECDSA, DSA
- AES, TripleDES, DES
- SHA-1, SHA-224, SHA-256, SHA-384, SHA-512, RIPEMD160
- SHA-1 HMAC, SHA-224 HMAC, SHA-256 HMAC, SHA-384 HMAC, SHA-512 HMAC
- RSA, ECDSA, DSA asimetrik anahtar üretimi, AES, DES, TripleDES simetrik anahtar üretimi
- Secp prime eğriler, özel prime eğriler ve gizli eğriler ile işlem yapabilme
- Milli rastgele sayı üretici

GÜVENLİK

- ISO 19790 Level-3 (FIPS 140-2 muadili)
- CC EAL4+ sertifikası
- Tamper korumalı sert metal kapak
- Isı ve gerilim değişimini gözlemleyen devre

YÖNETİM

- Uzaktan cihaz yönetimi
- Uzaktan yönetim için GUI ve komut satırı yönetim programı
- Cihaz üzerinden yönetim için dokunmatik ekran
- Kritik işlemlerde M-of-N yönetici doğrulaması
- İşlem kayıtlarını tutma
- 256 adete kadar PKCS#11 slotu
- PKCS#11 slotlarına kullanıcı atama sınırlandırması
- PKCS#11 slotlarına akıllı kartlı doğrulama ile erişim
- Yedek alma ve yedekten yükleme

PERFORMANS

- RSA 2048-bit imzalama: 2000 op/saniye
- RSA 4096-bit imzalama: 450 op/saniye
- ECDSA 256-bit prime imzalama: 3100 op/saniye

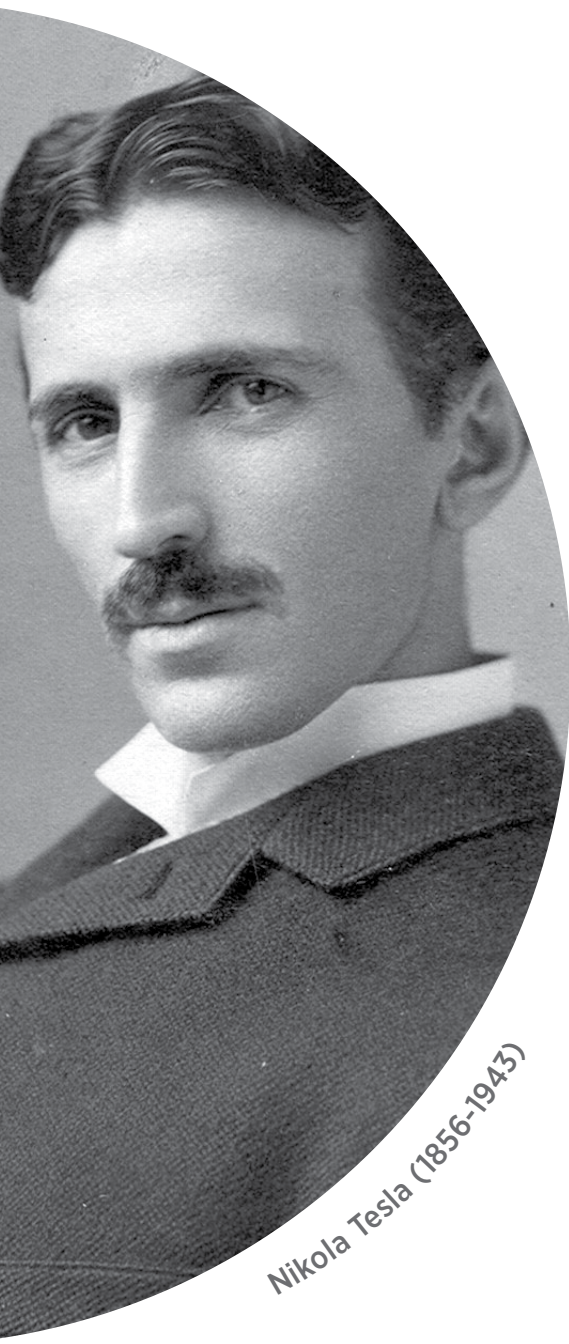
RADAR SİSTEMLERİ

RADAR, uzaktaki bir hedefin, menzili (radara olan uzaklığı), hızı, rotası, yaklaşma açısı, fiziksel boyutları, hareketli parçaları, üretildiği madde, vb. gibi kritik özelliklerinin kestiriminde kullanılan bir elektro- manyetik sistemdir.

RADAR ismi "RADio Detection And Ranging" ifadesinin kısaltması olup **"Uzaktan Algılama ve Menzil Tayini"** anlamına gelmektedir.

2. Dünya Savaşı'nın bitmesiyle radarın askeri kullanımının yanı sıra insan hayatını önemli ölçüde etkileyecek pek çok alanda kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır. Radarın çalışma prensibi oldukça basit ancak çalışır hale getirilmesi bir o kadar karmaşık ve zordur. Radar ile ölçülen sinyalde hedeflerden gelen yansımaların yanı sıra pek çok bileşen bulunmaktadır. Bu bileşenler, Kargaşa (Clutter), Gürültü, Karıştırma (Jamming) ve Elektromanyetik girişimden (EMI) kaynaklanmaktadır. Radar, her ne kadar askeri ihtiyaçlar için ortaya çıkmış olsa da, sivil uygulamalar da geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Faz dizili anten yapısı ile elektronik huzme yönlendirme kabiliyetine sahip olan AESA radarları konvansiyonel mekanik dönen tek huzmeli radarlara göre pek çok avantaja sahiptir.

RADAR, uzaktaki bir hedefin, menzili (radara olan uzaklığı), hızı, rotası, yaklaşma açısı, fiziksel boyutları, hareketli parçaları, üretildiği madde, vb. gibi kritik özelliklerinin kestiriminde kullanılan bir elektro- manyetik sistemdir. RADAR ismi **"RADio Detection And Ranging"** ifadesinin kısaltması olup **"Uzaktan Algılama ve Menzil Tayini"** anlamına gelmektedir. RADAR, bir elektromanyetik radyo sinyalinin havaya yayınlanması ve hedeften yansıyan sinyalin dinlenmesi yoluyla çalışmaktadır [1].



Nikola Tesla (1856-1943)



Nikola Tesla 1900 yılında yayınladığı bir yazısında açıkça radarı tarif etmiştir: **"Bir ses çıkarıp yankısını duyduğumuzda biliriz ki ses uzaktaki bir duvar veya engelden yansıyarak geri gelmiştir. Tamamen ses ile aynı şekilde, bir elektrik dalgası da engellerden yansımaktadır. Bu bulgu, uzaktaki hareket eden bir nesnenin, örneğin denizdeki bir geminin, göreceli konumunun ve rotasının belirlenmesinde kullanılabilir"**.



Radarin Tarihi

Radarin teorisinin temelleri 1865 yılında İskoçya'lı fizikçi **James Clerk Maxwell**'in elektromanyetik alan denklemlerini ortaya koymasına kadar uzanmaktadır. **Maxwell** elektrik ve manyetik alanları tanımlamış, radyo dalgalarının varlığını, ışık gibi dalgalar şeklinde ve ışık hızında yayıldığını keşfetmiştir. Maxwell'in teorik öngörülleri 1880'lerde Alman fizikçi **Heinrich Hertz** tarafından deneylerle doğrulanmıştır. Hertz elektromanyetik dalgaların çevredeki objeler ile etkileşmekte olduğunu açık biçimde göstermiştir. Nesnelerin elektromanyetik dalgalar yardımıyla uzaktan tespit edilebileceği fikri 1900'lere doğru ortaya çıkmıştır. **Nikola Tesla** 1900 yılında yayınladığı bir yazısında açıkça radarı tarif etmiştir: «Bir ses çıkarıp yankısını duyduğumuzda biliriz ki ses uzaktaki bir duvar veya engelden yansıyarak geri gelmiştir».

Tamamen ses ile aynı şekilde, bir elektrik dalgası da engellerden yansımaktadır. Bu bulgu, uzaktaki hareket eden bir nesnenin, örneğin denizdeki bir geminin, göreceli konumunun ve rotasının belirlenmesinde kullanılabilir». Ancak çeşitli sebeplerden dolayı Tesla'nın fikri somut şekilde gerçekleştirilmemiştir [2].

Benzer yıllarda Nobel sahibi İtalyan mucit **Guglielmo Marconi** radyo dalgalarının uzun menzillere gönderilebileceğini göstermiş ve Marconigram adı verilen kablosuz haberleşme cihazını icat etmiştir. 1912 yılında Atlantik okyanusunun kuzeyinde Titanic gemisi batarken, CQD ve SOS yardım sinyalleri gemideki Marconigram ile yayınlanmış ve yardım çağrılarını alan gemiler 700'den fazla kazazedenin hayatını kurtarmıştır. Marconi ve Franklin 1922 yılında kısa dalga bir verici/alıcı yapısı ile uzaktaki nesnelerin tespit edilebileceğini göstermişlerdir.

1904 yılında Alman mühendis **Christian Hülsmeier**, "Teleobiloskop" adını verdiği, 2-3 deniz mili uzakta bir geminin varlığını tespit edip bir zili çaldıran cihazın patentini almıştır.

Cihazın öneminin anlaşılması için 20 yıldan fazla zaman geçmesi ve 2. Dünya Savaşı'nın yaklaşmasıyla uzaktan hedef tespit ihtiyacının ortaya çıkması gerekmiştir.

1935'te **Sir Robert Watson Watt** ve ekibi bir uçağın menzil, açı ve yüksekliğini tespit edebildikleri sistemi göstermiş ve gerçek anlamda bir radar ortaya koymuşlardır.

1937-1940 yıllarında ise **Chain Home** adı verilen radar sistemi hayata geçirilmiştir. Bu sistem, 2. Dünya Savaşı'nın en kritik muhaberelelerinden biri olan "Battle of Britain"-da, Almanya'nın sayıca ve teknolojik olarak üstün hava kuvvetlerinin (Luftwaffe) İngiltere'nin sınırlı sayıda uçağa sahip hava kuvvetleri tarafından yenilgiye uğratılmasını sağlamıştır. Hava üstünlüğü kuramayan Almanya'nın İngiltere'yi işgal girişimi de başarısız olmuştur.

Antenlerin ve vericilerin çok daha küçük boyutlara indirilebilmesi, daha düşük dalga boylarında ve yüksek güçlerde çalıştırılabilmesini sağlayan **"Cavity Magnetron"**un icadı ile radar başka bir boyut kazanmıştır. 1940 yılında **Tizard** görevi adı verilen gizli bir operasyon ile cavity magnetron ve birkaç bilim insanı İngiltere'den ABD'ye gönderilmiş ve orada radar çalışmalarını hızlandırmışlardır. ABD'de bu teknolojinin gelişmesiyle çok daha yüksek frekanslarda ve yüksek güçlerde küçük boyutlu radarlar geliştirilmiş, her türlü platforma konuşlandırılmıştır. 2. Dünya Savaşı'nın bitmesiyle radarların askeri kullanımının yanı sıra insan hayatını önemli ölçüde etkileyecek pek çok alanda kullanımı hızlı bir şekilde artmıştır.

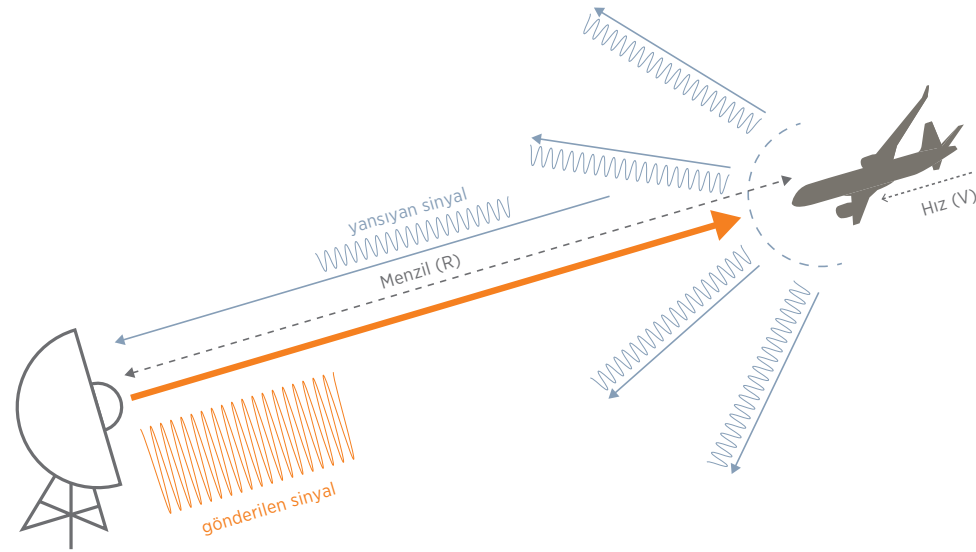
Chain Home, dünyadaki ilk etkin uyarı radar ağı





Radar Çalışma Prensipleri

Sabit ışık hızı ($c = 299,792,458$ m/s) ile ilerleyen elektromanyetik sinyal R mesafedeki bir hedefe çarpar ve çok küçük bir kısmı yansır. τ süre sonra $2R$ yol kat etmiş olarak radara geri gelir. τ süresi ölçülerek $Yol = Hız \times Zaman$ ilkesi uyarınca hedef menzili hesaplanır ($2R=c \times \tau$). Radarın çalışma prensibi oldukça basit ancak çalışır hale getirilmesi bir o kadar karmaşık ve zordur [1]. Şekil-1'de sinyal gönderme ve alma konsepti gösterilmektedir.



Şekil 1: Radar Sinyal Gönderme/Alma

Radar ile Hedef Tespit ve Takibi

Radar sisteminde $S_{(T_x)}(t) = A(t) e^{j(2\pi f_0 t)}$ sinyali yayınlandığında, R mesafede V radyal hızındaki hedeften yansıyan sinyal $S_{(R_x)}(t) = \alpha A(t-\tau) e^{j(2\pi (f_0 + f_D) t)}$ ölçülmektedir [3]. Hedef menzili $R(t) = c\tau/2 - Vt$ formülüyle bulunur. Alınan sinyalin merkez frekansı, hedef radara yaklaşıyorsa Doppler frekansı $f_D = (2Vf_0)/c = 2V/\lambda_0$ kadar daha yüksek, uzaklaşıyorsa $2V/\lambda_0$ kadar daha düşük ölçülür. Burada $\lambda_0 = c/f_0$ sinyalin dalga boyudur. Doppler frekans kayması yardımıyla hedef radyal hızı $V = (\lambda f_D)/2$ hesaplanır.

Radar ile ölçülen sinyalde hedeflerden gelen yansımaların yanı sıra pek çok bileşen bulunmaktadır. Bu bileşenler, Kargaşa (Clutter), Gürültü, Karıştırma (Jamming) ve Elektromanyetik girişimden (EMI) kaynaklanmaktadır:

Kargaşa (Clutter)

- Yer (yeryüzü, evler, ağaçlar, dağlar, denizler, araçlar, vb.)
- Hava (bulutlar, yağmur, kar, dolu, vb.)

Gürültü (Noise)

- Dış gürültü (Kozmik gürültü)
- İç (Cihaz) gürültü (atım (shot) gürültüsü, Termal gürültü, vb.)

Karıştırma (Jamming) ve Elektromanyetik Girişim (EMI)

Eldeki bir radar ölçüm sinyalinden belirli menzilde hedef olup olmadığı kararının verilmesine sinyal sezimi (signal detection) denilmektedir. Hedef kararı verilebilmesi için bir eşik belirlenmelidir. Eşik, arzu edilen tespit olasılığı (PD), Sinyal Gürültü Oranı (SNR) ve yanlış alarm olasılığı (PFA) göz önünde bulundurularak belirlenir [1].

Hedef takibi radar sistemlerinin bir diğer vazgeçilmez işlevidir. Her radar revisit (tur) zamanında tespit edilen hedef konumları kullanılarak hedeflerin anlık ve bir sonraki turdaki konum, hız ve yön bilgilerinin kestirilmesi işlemine Hedef İzleme (Target Tracking) denilmektedir. İlkendirme, ilişkilendirme, güncelleme, süzgeçleme gibi aşamaları bulunur. Kalman süzgeçleme, Genişletilmiş Kalman Süzgeçleme, Bayesian yaklaşımlar, IMM-PDA, MLPDA, Parçacık Süzgeçleri vb. pek çok farklı yöntem mevcuttur.

Radar Kullanım Alanları

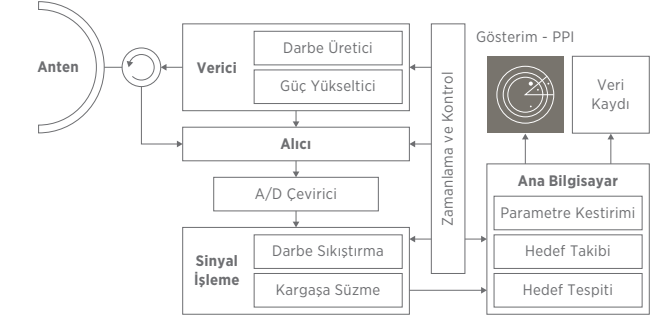
Radar, her ne kadar askeri ihtiyaçlar için ortaya çıkmış olsa da, sivil uygulamalar da geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Bazı kullanım alanları Tablo-1'de verilmektedir.

Tablo-1: Bazı Radar Kullanım Alanları

Askeri Kullanım Alanları	Sivil Kullanım Alanları
Gözetleme & Takip	Uçak ve Gemi Navigasyonu
Atış Kontrol	Astronomi
Erken	Meteoroloji
Yörünge Tespit	Havacılık
Ufuk Ötesi Görüntüleme	Tarım ve Ormancılık
SAR / ISAR Görüntüleme	Otomotiv
Çevre Güvenlik / Drone Tespit	Arkeoloji
Mayın/EYP Tespit	Madencilik

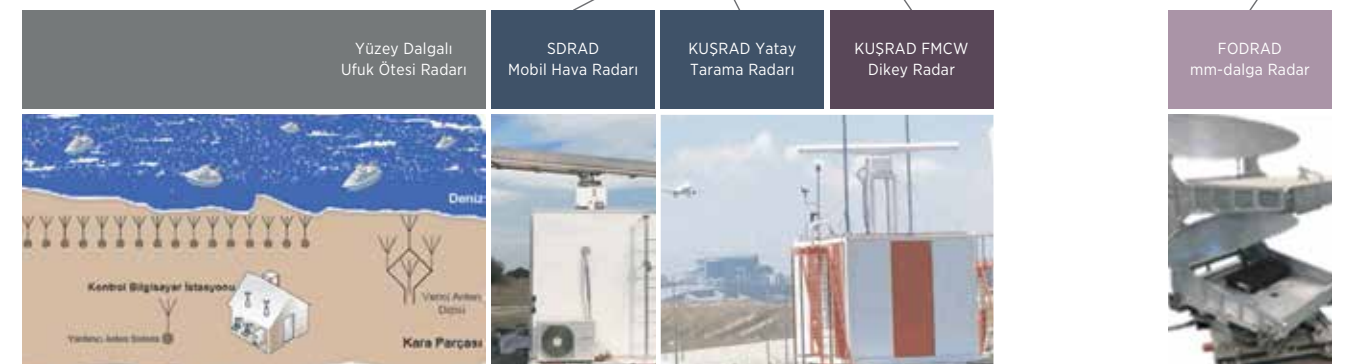
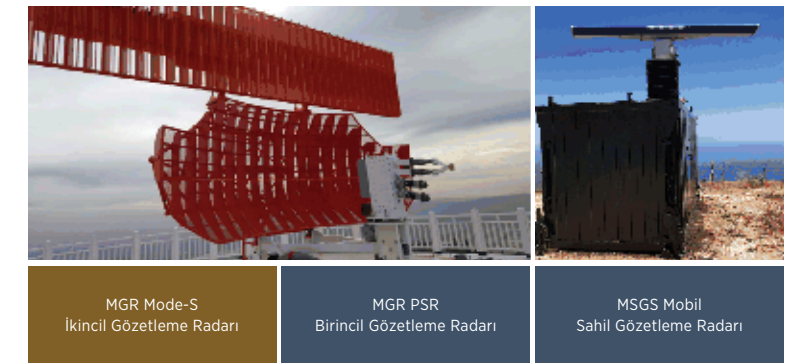
Radar Bileşenleri

Radar temel olarak anten, alıcı/verici donanımları, sinyal işleme ve görselleştirme birimlerinden oluşur (Şekil 3). Verici, darbe üreticiden aldığı modüleli sinyalleri RF bandına çıkarıp kuvvetlendirerek antene ileten bileşendir. Sinyali bir huzme şeklinde havaya yayan, gelen elektromanyetik sinyalleri toplayan sistem bileşenine anten adı verilmektedir. Alınan sinyallerin kuvvetlendirilmesi, süzgeçlenmesi ve demodülasyonu alıcı bloğu tarafından gerçekleştirilir. Sinyal İşleme Birimi, çeşitli algoritmalar yardımıyla hedef tespiti, menzil ve hız tayini, hedef takibi ve sınıflandırma gibi işlemlerin gerçekleştirildiği birimdir. Sonuçlar bir görselleştirme arayüzü olan gösterim birimine aktarılır. Tüm bu işlemlerin tam bir koordinasyon içerisinde ve senkron şekilde yapılabilmesinden Zamanlama ve Kontrol Birimi sorumludur. Hemen her radar sisteminde çıktılarını kaydedildiği veri kayıt birimi de bulunmaktadır.



Şekil 3: Temel Radar Bileşenleri

Bir kaç MHz'den 300 GHz ve ötesine kadar pek çok farklı frekans bölgesinde çalışan radar sistemleri mevcuttur. Frekans yükseldikçe dalga boyu küçülmekte ve çözünürlük iyileşmektedir. Şekil-2'de ITU (International Telecommunication Union) radar frekans batları ve BİLGEM'de geliştirilen bazı radar sistemleri gösterilmektedir.



Şekil 2: Radar Frekans Bantları ve bazı BİLGEM Radarları

Radar Araştırma Alanları ve Modern Radar Teknolojileri

1920'lerde hız kazanan radar geliştirme faaliyetleri her sektörde ve teknolojiye olduğu gibi halen hızla ilerlemektedir. Yarı iletken teknolojisindeki ilerleme ile katı hal kuvvetlendiriciler daha erişilebilir olarak yüksek güç ve geniş bantları destekler hale gelmişlerdir. LDMOS, GaN, GaaS, SiC sıklıkla kullanılan güç kuvvetlendirici teknolojileridir. MMIC ise yüksek frekans tasarımlarda substrat olarak genellikle GaN veya GaAs kullanılan tasarım/üretim yaklaşımının adıdır. Tüm bu yarı iletken teknolojileri daha yüksek frekanslar, daha geniş bantlar, daha yüksek verimlilik ve daha yüksek çıkış gücü gibi alanlarda imkânlar sunmaktadır. Bu bileşenleri bir araya getirerek gönderme alma modülleri (T/R Modül) oluşturulabilmektedir. T/R modüller yardımıyla, mekanik tarama yapmaksızın radar huzmesinin elektronik olarak döndürülebildiği AESA radar sistemleri geliştirilebilmektedir. Faz dizili anten yapısı ile elektronik huzme yönlendirme kabiliyetine sahip olan AESA radarları konvansiyonel mekanik dönen tek huzmeli radarlara göre pek çok avantaja sahiptir. İşlevsel olarak özellikle elektronik taramalı radarlar ile beraber radarlar çok işlevli hale gelmiştir. Çok sayıda T/R modülünden meydana gelen AESA radarlar için günümüzde T/R modüllerini daha ucuz, daha yüksek güçlü, daha verimli ve daha küçük yapmak üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Eğer kullandığı modüller sadece alışı yönünde huzme yönlendirme yapabiliyorsa bu radar tipi PESA olarak adlandırılır. ADC ve DAC entegrelerinin hızları arttıkça direkt RF örnekleme, işlemci güçleri arttıkça sayısal huzme oluşturma teknikleri gelişmektedir. Bu teknikler faz dizili radarlarda kullanılan modülasyon ve huzme oluşturma tekniklerinin daha büyük oranda sayısal devrelere aktarılmasını ve aynı oranda adapte olabilir sistemlerin tasarımını kolaylaştırmaktadır.

Bir diğer önemli çalışma alanı yazılım tabanlı radar sistemleridir. Bu yaklaşımda mümkün olduğu kadar ilk katlarda sayısallaştırılan alıcı sinyali yüksek performanslı işlemciler üzerinde yazılımsal olarak işlenmektedir.

Yenilikçi faz dizili radar teknolojilerinden biri olan Metamateryal Antenler son dönemdeki en şaşırtıcı gelişmelerdendir. Ülkemizde BİLGEM'de de çalışılan bu yeni teknolojiye analog faz geciktirme yapıları minyatür hale gelerek anten üzerine dizilmekte ve bir anten plakası halinde üretilmektedir.

MIMO sistemler birden fazla giriş ve birden fazla çıkışı olan sistemlerdir. Radar özelinde bu veri ve alışı yönünde birden fazla kanal oluşturmak anlamına gelmektedir. Birbirine ortogonal (dik) sinyaller oluşturarak ortak bir kanaldan aktarılmakta ve birbirlerinden ayrıştırılabilmektedirler. Bu sayede birden fazla radar aynı anda çalışıyor gibi bir yapı kurulabilmektedir. Çeşitlilik anten dizilerinin yapay çoğullanması ile artırılmış tespit açısı doğruluğu ve tespit gürbüzlüğü olarak fayda sağlar. Eğer alıcı dizi farklı konumlardaki vericilerin sinyallerini de alabiliyorsa kanal çeşitliliği ile tespit gürbüzlüğü daha da artmaktadır.

Verici ve Alıcı antenlerin aynı konumda bulunduğu radar sistemleri monostatik, farklı konumlarda bulunduğu radar sistemleri ise bistatik olarak adlandırılmaktadır. Birden çok alıcı ve vericinin farklı konumlara yerleştirildiği sistemler ise Multistatik Radar olarak bilinmektedir. Farklı konumlardaki radarların birlikte çalışması ve sinyallerini ortak kullanabilmeleri bizi multistatik/dağıtık/ağ radar sistemlerine taşır.

Bilişsel radar sistemi isterleri harekât sahasının her gün daha karmaşık hale gelmesinden ortaya çıkmaktadır. Burada radarın çalıştığı ortamı dinleyerek akıllı bir şekilde ona uyum sağlaması hedeflenir. Örnek olarak ileri radar elektronik karşı karşı tedbirleri, çeviklik ile beraber bilişsel radarın bir alt konusu olarak incelenebilir.

Tüm harekât sahası isterlerinin en popülerlerinden biri aktif bir sensör radarın düşman tarafından tespit edilememesi olabilir. Burada Pasif Radar konsepti öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımda radar tespit için kendi vericisini değil kendisi dışındaki fırsat vericilerini kullanmaktadır. Pratik uygulama zorluklarını aşmak yönündeki çalışmalar günümüzde hala popülerdir.

Radar alanında günümüzün en şaşırtıcı gelişmeleri yapay zekânın radar alanında kullanımınıdır. Yapay zekâ radar hedef sınıflandırma işlevinde ön plana çıkmaktadır. Ancak hedef tespiti konusunda da uygulanıp performans artışı gösterdiği ticari uygulamaların yakın zamanda ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

Z A M A N D A M G A S I C İ H A Z I Z D C - 5 0 0

Zaman damgası işlemini, 5070 sayılı e-İmza Kanununa göre, elektronik veri işlemlerinin (üretildiği, değiştirildiği, gönderildiği, alındığı ve kaydedildiği gibi) zamanının tespit edilmesi amacıyla elektronik servis sağlayıcı tarafından elektronik imzayla doğrulanan kaydı, kapalı bir ağda yüksek performansla güvenli olarak üreten cihazdır. İşlemlerde kullanılan anahtarların fiziksel saldırı korumalı kriptografik modül içerisinde saklanması neticesinde yüksek güvenlik sağlar.



TEKNİK ÖZELLİKLER

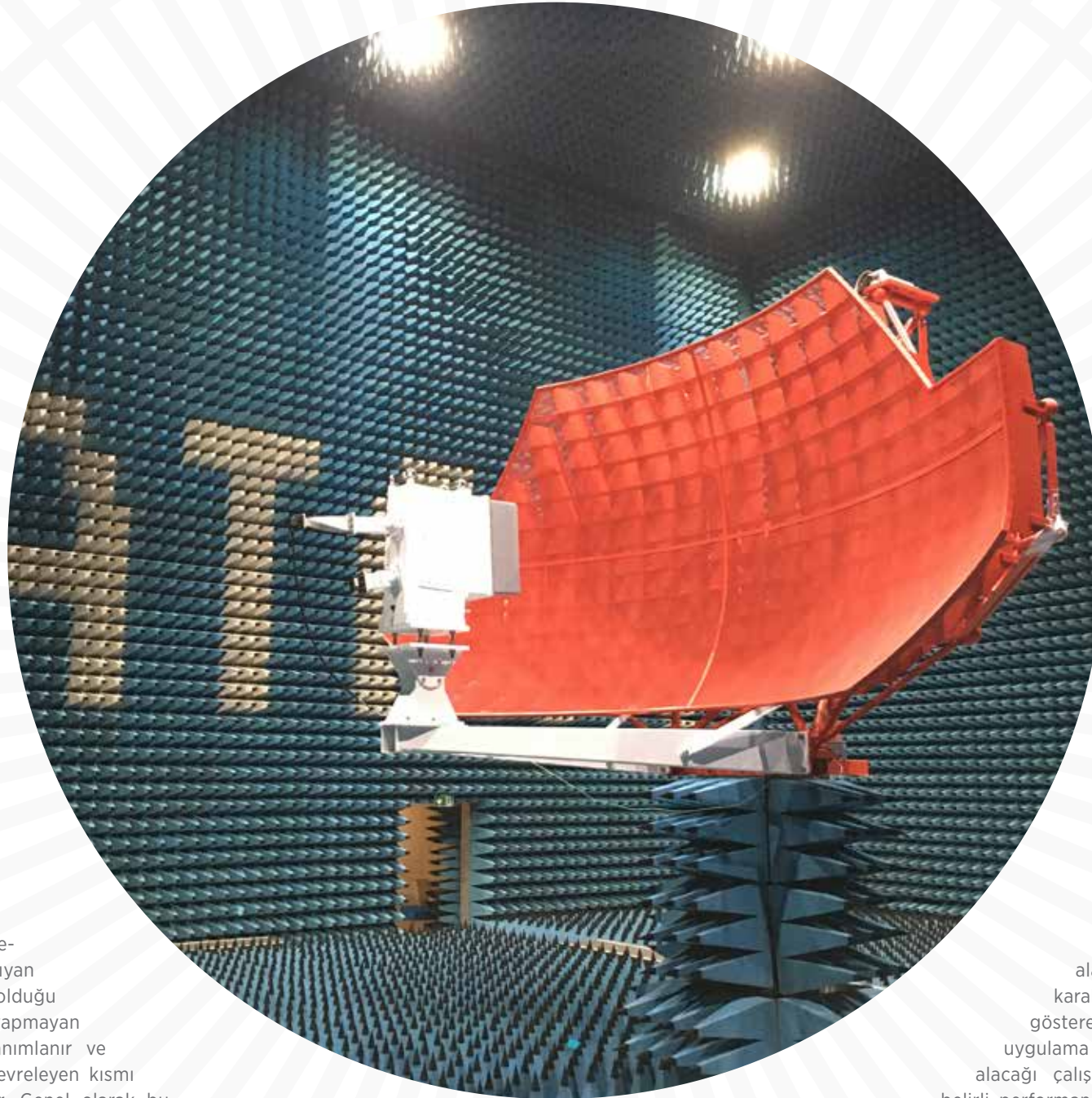
- RFC 3161 standardı
- NTP sunucusu sağlayıcısı
- Zaman damgası sunucusunun imzalama işlemini HSM içerisinde gerçekleştirme
- GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uydularının herhangi üçünden zaman bilgisi kontrolü
- SNMP v3 desteği
- Kullanıcı dostu HMI arayüzü
- Veri kaybını engelleyen yedekli veri kayıt sistemi
- X.509 sertifikalarını ve açık anahtar algoritmalarını kullanarak zaman damgası imzalama işlemi
- CC EAL4+ sertifikası
- EN6100045, EN55032:2012, EN55024:2010, EN550581:2012 sertifikası
- RoHS 2002/95/EC sertifikası
- Tamper korumalı sert metal kapak
- Isı ve gerilim değişimini gözlemleyen devre
- Uzaktan cihaz yönetimi
- Cihaz üzerinden yönetim için, 4.3 inch dokunmatik ekran
- İşlem kayıtlarını tutma ve yedekleme
- 500 op/saniyeye kadar zaman damgası verme hizmeti
- Dual hotswap güç kaynağı
- 2 port aktif/pasif Gigabit ethernet
- Durum ledleri (Başlangıç durumu, pozisyon durumu, anten durumu, zaman senkronizasyon durumu)
- RG58 anten girişi
- Windows, Linux, MacOS

KAYNAKÇA

- [1] Merrill I. Skolnik, Radar Handbook, Third Edition 3rd Edition, Mc Graw Hill, 2008.
- [2] Tapan K. Sarkar; Magdalena Salazar Palma, "A History of the Evolution of RADAR", Proceedings of the 44th European Microwave Conference, 6-9 Oct. 2014, Rome, Italy.
- [3] Mark A. Richards; James A. Scheer; William A. Holm, Principles of Modern Radar: Basic Principles, SciTech Publishing. ISBN 978-1891121-52-4, 2010.

Fatma Zengin - Başuzman Araştırmacı, Türker İsenlik - Başuzman Araştırmacı,
Eren Akkaya - Başuzman Araştırmacı, Hüseyin Yiğit - Başuzman Araştırmacı
Ömer Yılmaz - Başuzman Araştırmacı, Koray Sürmeli - Başuzman Araştırmacı / BİLGEM BTE

Tasarımdan ölçüme, antennelere GENEL BAKIŞ



Çağımızda her geçen gün önemi artan bilgiye kesintisiz ve hızlı erişim ihtiyacı kablosuz iletişim uygulamalarının motivasyon kaynağı olmuştur. Kablosuz haberleşmenin önemli unsurlarından olan anten, radyo dalgalarının keşfinden itibaren haberleşme ve radar sistemlerinin vazgeçilmez bir bileşenidir.

Anten, en genel tanımıyla elektromanyetik enerjiyi elektriksel gerilim ve akıma veya elektriksel gerilim ve akımı elektromanyetik enerjiye dönüştüren, bu enerjiyi belirli bir frekans aralığında istenilen uzaysal dağılıma yönlendiren elemanlardır. Bir antenden ışılan elektromanyetik alan karmaşık Poynting vektörü (ExH^*) ile ifade edilir. Burada E elektrik alanı, H ise manyetik alanı göstermektedir. Poynting vektörü antenin yakın alanında sanal (imajiner) bir değere sahiptir ve antenden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde azalır. Bu durum farklı ışılma bölgelerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Oluşan ışılma bölgeleri reaktif yakın alan, ışılan yakın alan (Fresnel) ve uzak alan (Fraunhofer) bölgeleri olarak adlandırılır. Bu bölgeler, içinde barındırdıkları alan yapılarını tanımlayabilmek için belirlenmiş olup bunlar için yaygın olarak kullanılan çeşitli kıstaslar olmasına rağmen bölgeleri ayıran sınırlar tek bir şekilde tanımlanmış değildir.

lanmış değildir.

“Reaktif yakın alan bölgesi”, reaktif alanların, ışılan alanlara baskın olduğu antenin ışılma yapmayan bölgesi olarak tanımlanır ve kaynağı hemen çevreleyen kısmı olarak ifade edilir. Genel olarak bu bölgenin dış sınırı $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ veya $\lambda/2$ mesafesi olarak alınır. Burada, λ dalga boyunu, D ise antenin en büyük boyutunu ifade eder. Bu alanın biraz ötesinde antenin ışılan alanlarının baskın olduğu “ışılan yakın alan bölgesi” başlar. Bu bölgede açılal alan dağılımı, antene olan mesafeye bağlıdır. Antenin açılal alan dağılımının antenden olan mesafeden bağımsız olduğu alan bölgesi ise “uzak alan bölgesi” olarak tanımlanır. Yaygın olarak, D maksimum boyutuna sahip (geçerli olabilmesi için D 'nin dalga boyuna göre büyük olması gerekmektedir) bir antenin uzak alan bölgesi $2D^2/\lambda$ ile başlar. Bu sınır değeri, $\pi/8$ 'lik bir faz hatası kabulüyle ilgilidir [1].

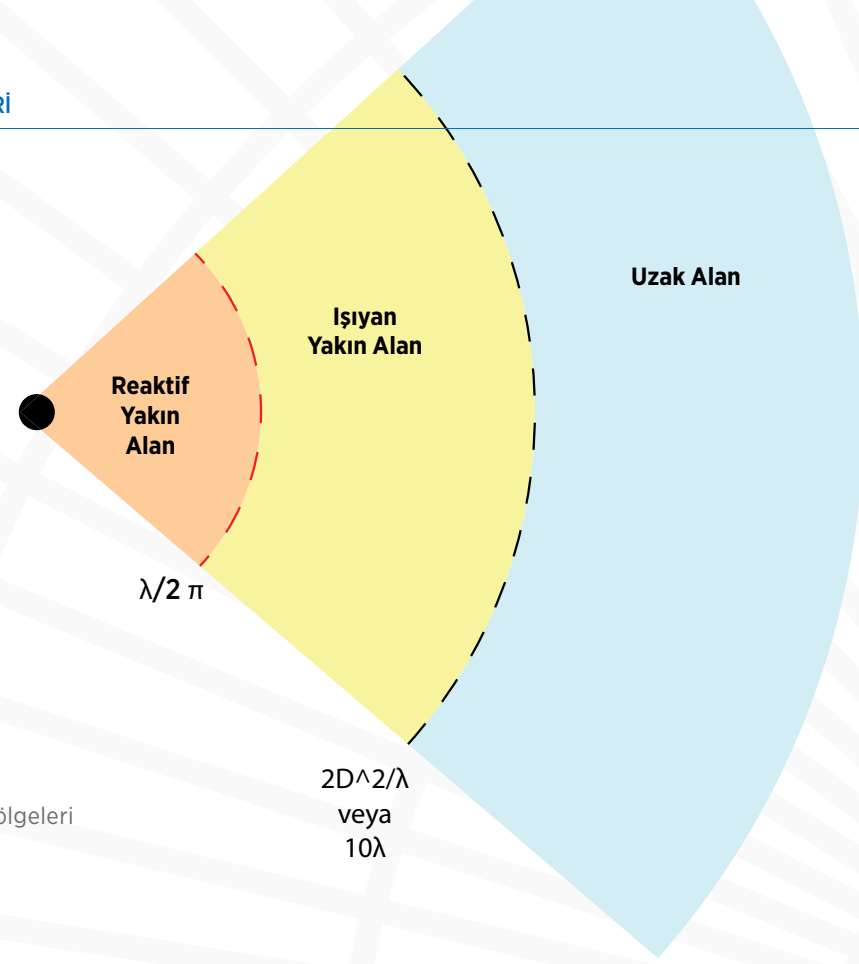
Şekil 1. Işıılma Alan Bölgeleri
Bir anten kullanılacağı uygulama alanına göre farklı karakteristik özellikler gösterebilir. Hatta antenin uygulama alanı ve içinde yer alacağı çalışma ortamına göre belirli performans özelliklerine sahip olması istenilen bir durumdur. Bu durum çeşitli anten yapılarının tasarımını kaçınılmaz kılmaktadır.

Anten seçiminde en önemli adım antenin uygulama alanına bağlı olarak anten tipini belirlemektir. Anten tasarımında; çalışma frekans bandı, kazanç, ışılma örüntüsü ve polarizasyon temel parametrelerdir. Bu parametreler uygulamaya özgü olarak sistem gereksinimlerini karşılayacak biçimde en iyilemeye çalışılır.

Tasarlanan antenlerin teorik veya uygulamalı olarak elektromanyetik açıdan problemlerinin çözülmesi gerekmektedir.

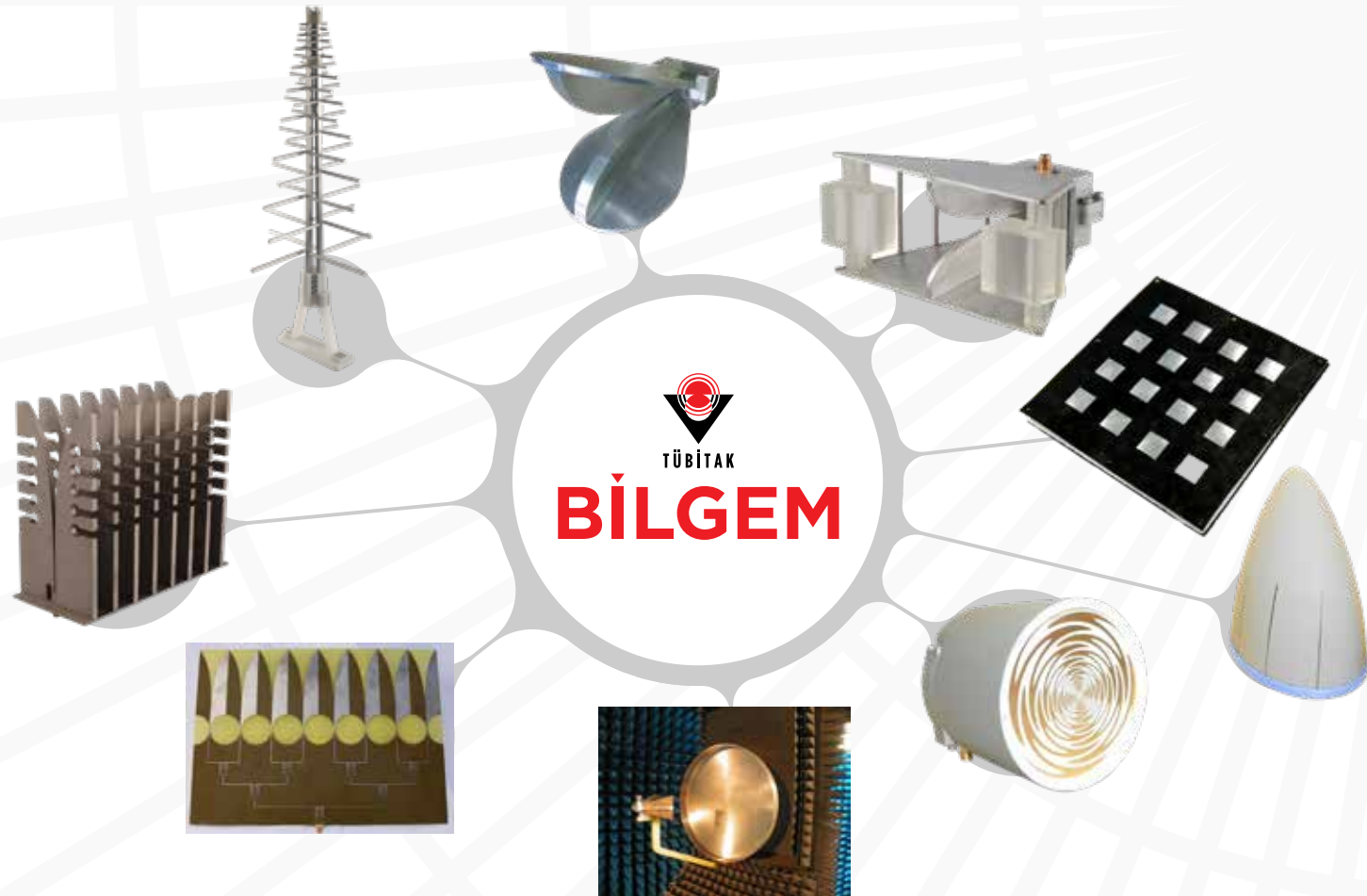
Anten problemlerinin çözümünde öncelikle analitik yöntemler tercih edilmekle birlikte çoğu anten elemanı ya da dizisi için denklemlerin karmaşık yapıya sahip oluşu ve problem boyutunun büyüklüğü, nümerik metotların ve ticari 3-boyutlu (3B) tam dalga elektromanyetik analiz programlarının kullanımını bir anlamda mecbur kılmaktadır.

TÜBİTAK BİLGEM tarafından yürütülen sivil ve askeri alanda kritik öneme sahip projeler için ihtiyaçlar ve beklentiler doğrultusunda Anten Teknolojileri ve Ölçüm Sistemleri Bölümü tarafından Ar-Ge faaliyetleri yürütülerek çeşitli anten yapıları ve antenleri dış ortam koşullarından (rüzgar, kar, yağış, nem, sıcaklık vb.) koruyan ve elektromanyetik performansını bozmayan radom tasarımları geliştirilmektedir. Geliştirilen antenler tek başlarına kullanılabildiği gibi aynı zamanda dizi halinde tasarlanarak da kullanılabilirler. Sinüs antenler, vivaldi antenler, log periyodik antenler, yama antenler, horn antenler ve yansıtıcı antenler bu sistemlerde kullanılan antenlere örnek olarak verilebilir.



Şekil 1. Işıma Alan Bölgeleri

Antenin en önemli uygulama alanlarından biri olan radar sistemlerine yönelik çalışmalar TÜBİTAK BİLGEM bünyesinde yerli ve milli imkânlarla gerçekleştirilmektedir. Havaalanı radar sistemi olan Milli Gözetim Radarı (MGR) için tasarlanan ve geliştirilen yansıtıcı anten, bu kapsamda yapılan çalışmalara ve radar uygulamalarına örnek olarak verilebilir.



Şekil 2. Farklı anten ve radom tipleri



Şekil 3. Milli Gözetim Radarı

Hava trafik kontrolü amacıyla kullanılan Milli Gözetim Radarı'nın anten birimi fiziksel olarak yatay düzlemde 360° dönebilme özelliğine sahiptir. Birincil radar sistemi (Primary Surveillance Radar) olarak faaliyet gösteren MGR'de, anten tarafından gönderilen radyo dalgaları karşılaştıkları nesnelere geri yansıtılarak radar içerisinde yer alan alıcı tarafından işlenmektedir. Bu giden ve yansıyan radyo dalgalarının arasında geçen zaman hesaplanarak nesnenin yeri ve uzaklığı belirlenebilmektedir.

Diğer taraftan uçuş güvenliğini sağlamak amacıyla yarıklı dalga klavuzu dizi anteni kullanılarak geliştirilen KUŞRAD - Kuş Tespit Radarı, havadaki canlıların ve cisimlerin belirlenmesini sağlayan yerli ve milli olarak geliştirilmiş bir kuş tespit radarıdır. Hava araçlarının güvenli bir şekilde uçuş yapabilmesi için tehlike oluşturabilecek herhangi bir cisme çarpmasını önlemek amacıyla hizmet vermektedir.

Ayrıca uçuş pistlerinde bulunabilecek yabancı madde tespitinde kullanılmak üzere geliştirilen bir diğer radar örneği FODRAD - Foreign Object Debris (FOD) radarıdır. Bu radarda milimetre dalga frekansında verici ve alıcı olmak üzere iki yansıtıcı anten kullanılmaktadır. Pist üzerindeki cisimlerin konum tespitini ve gerçek zamanlı gösterimini



Şekil 4. KUŞRAD - Kuş Tespit Radarı

yapabilme özelliğine sahip FOD tespit radarı Uluslararası Antalya Havalimanı'nda faaliyet göstermektedir.



Şekil 5. FOD Tespit Radarı

Günümüzde sivil ve askeri uygulama alanlarındaki ihtiyaçların artması ve çeşitlenmesi yeni ürünlerin geliştirilmesini zaruri kılmaktadır. Teknoloji alanında yaşanan ilerlemeler, antenlerin çok fonksiyonlu olmasına ve birçok görevi aynı anda yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Her anten elemanının besleme genlik ve faz değerlerinin ayrı ayrı kontrol edilebildiği faz dizili antenler bu ihtiyaçların çözümüne yönelik çalışmalara bir örnektir.

Test sistemleri hakkında elde edilen bilgi, tecrübe ve yeni teknolojik kazanımlar birleştirilerek anten ölçüm yazılımı, algoritma geliştirme, ölçüm sistemi ve yansısız oda kurulumu konularında çalışmalar yürütülmektedir. Bunun yanı sıra 5G ve ötesine yönelik anten ölçüm çalışmaları için gerekli ölçüm altyapı faaliyetleri devam etmektedir.

Düzlemsel ve Silindirik Yakın Alan Ölçüm Sistemi

Test Odası Boyutları
Maksimum Test Anten Boyutu
Maksimum Test Anten Ağırlığı
Tarama Düzlemi
Frekans Aralığı

Yüksek Kazançlı Anten Ölçümü

17x18x14 metre (BxGxY)
6 x 6 x 6 metre
4000 Kg
9 x 9 metre
0.5 GHz - 40 GHz

Küresel Yakın Alan Ölçüm Sistemi

Test Odası Boyutları
Maksimum Test Anten Boyutu
Maksimum Test Anten Ağırlığı
Tarama Alanı
Frekans Aralığı

Orta ve Düşük Kazançlı Anten Ölçümü

7.5x4.7x3.30 metre (BxGxY)
1.5 metre
75 kg
Tam Küresel
0.75 GHz - 40 GHz

Sonuç olarak, iletişimin ve mobilitenin her geçen gün arttığı çağımızda, konumlandırmadan güvenlik hizmetlerine, radardan savunma sistemlerine, otonom araçlardan ağ bağlantılarına kadar farklı uygulamaların ihtiyaç duyduğu kablosuz iletişim çözümleri, antenin önemini daha da artırmaktadır.



Şekil 6. Vivaldi Dizi Anten

sağlanabilmesi bazı uygulamalarda ($D \gg \lambda$) uzun mesafeler gerektirdiğinden açık saha ölçümleri yerine kapalı yansısız odalarda gerçekleştirilen yakın alan ölçümleri tercih edilmektedir. Bu sayede ölçülmek istenen anten dış ortam koşullarından ve çevresel bozuculardan korunmuş olmaktadır [2].

Yakın alan ölçümleri, iyi tanımlanmış silindirik, düzlemsel ve küresel yüzeylerde belirli adımlarla genlik ve faz bilgileri elde edilerek gerçekleştirilmektedir. Tanımlanan tarama yüzeylerine bağlı olarak anten ölçüm sistemleri; Küresel Yakın Alan, Silindirik Yakın Alan ve Düzlemsel Yakın Alan olarak adlandırılmaktadır. Yakın alan ölçüm sistemlerinde antenin yakın alanında oluşan genlik, faz ve polarizasyon verilerinin belirli teknikler uygulanarak uzak alan verilerine çevrilmesi işlemi yapılmaktadır [3].

Anten boyutu, antenin çalışma frekansı ve anten kazancı çoğu zaman anten ölçümlerinde hangi tip ölçüm sisteminin kullanılacağını belirlemektedir. Örneğin büyük yansıtıcı yüzeye sahip radar antenlerinin ölçümünde düzlemsel yakın alan ölçüm sisteminin tercih edilmesi, küresel yakın alan ölçüm sistemlerine nazaran hem maliyet hem de zaman açısından daha elverişli olmaktadır. Diğer yandan küçük boyutlu antenlerin küresel yakın alan ölçüm sistemlerinde ölçülmesi antenin tam olarak üç boyutlu ışıma diyagramının elde edilmesini sağlamaktadır.

Küresel, Düzlemsel ve Silindirik Yakın Alan Anten Ölçüm Sistemleri TÜBİTAK-BİLGEM-BTE Anten Teknolojileri ve Ölçüm Sistemleri Bölümü bünyesinde Anten Test ve Araştırma Merkezi (ATAM) içerisinde kurulmuş olup mevcut projelerle birlikte ülkemizdeki diğer çeşitli kurum ve kuruluşlara anten ölçümleri ile ilgili hizmet vermektedir. Ayrıca anten ya da radom gibi yapılarda kullanılması olası malzemelerin yansıtıcılık ve geçirgenlik ölçümleri de malzeme karakterizasyon laboratuvarında gerçekleştirilmektedir.

Tasarlanan antenlerin teknik özelliklerine uygun olarak fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğinin doğrulanması gerekmektedir. Bunun için anten ölçüm sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemlerde yapılan anten ışıma örüntüleri ölçümleri gerçeğe en yakın sonucu vermektedir.

Bir anten ölçümünde genellikle S parametreleri, ışıma örüntüsü, yan ve arka kulakçıklar, hüzmeye şekli ve genişliği, polarizasyon, verimlilik, anten kazancı ve anten yönlendiriciliği gibi parametreler ölçülerek antenin karakteristiği çıkartılmaktadır.

Anten ölçümleri açık saha ortamında kurulmuş düzeneklerle yapılabildiği gibi yansısız oda içerisinde kurulmuş kapalı kontrollü ortamlarda da yapılabilmektedir. Açık saha ölçümlerinde antenin uzak alan koşulunun sağlandığı durum için genlik diyagramının çıkarımı yapılmaktadır. Ancak frekansa bağlı olarak uzak alan koşulunun

Kaynaklar:

- [1] C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. Publication, 2005.
[2] G.E. Evans, "Antenna Measurement Techniques", Artech House Inc., 1990.
[3] D. Slater, "Near-Field Antenna Measurement", Artech House Inc., 1991.

GENİŞ FREKANS

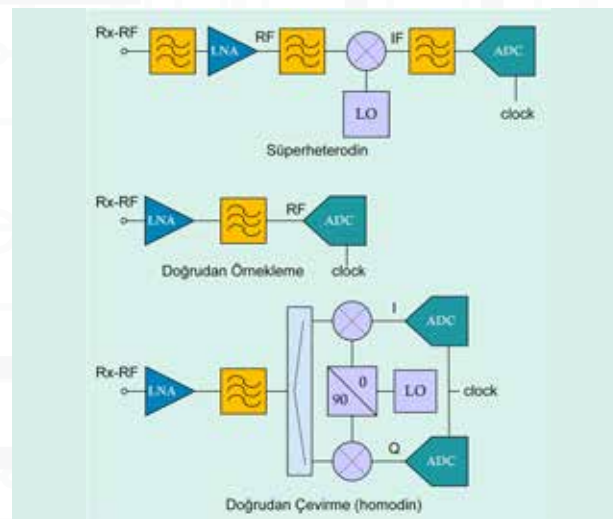
Bantlı RF alıcı donanımları



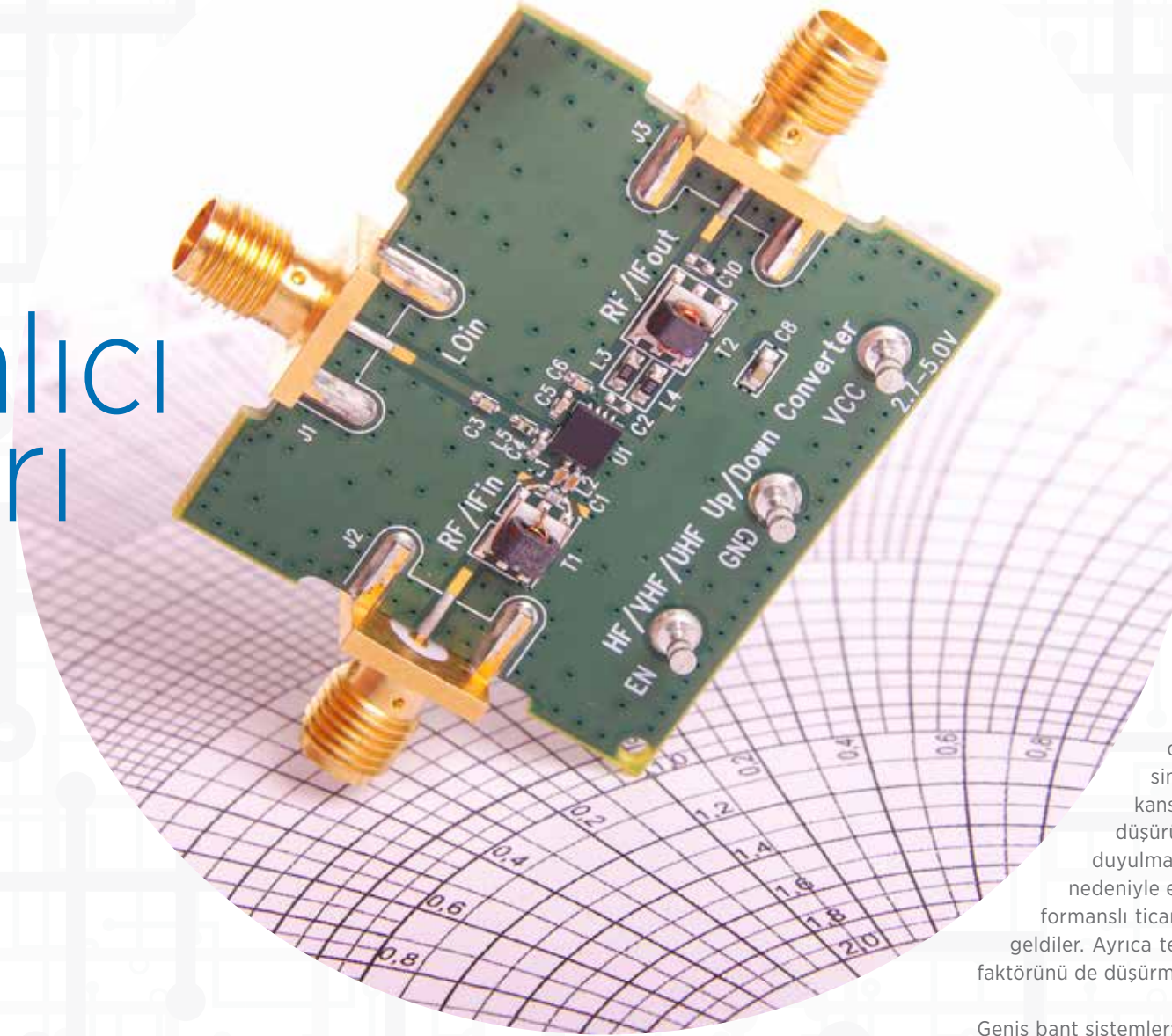
Günümüzde Geniş Frekans Bantlı RF Alıcı yapıları; Sinyal İstihbarat (SIGINT), Elektronik Harp (EW) ve Radar sistemlerinin temel donanımları olup yaygın olarak süperhet türevi bir mimari olan "En Az Filtreli İkili Dönüştürücü" mimarisi kullanılmaktadır.

Terminolojideki geniş bant ve ultra geniş bant, teknolojiye bağlı olarak farklı frekans bölgelerini ifade etmektedir. Yazımızda sözü geçecek donanımlarda kullanılan geniş bant ifadesinden anlayacağımız 0,2 - 18 GHz olacaktır. 18 - 40 GHz arası frekans bölgesi ise ultra geniş bant olarak adlandırılmaktadır.

Geleneksel RF (radio frequency) alıcılarda en çok kullanılan üç temel yapı (Şekil- 1); süperheterodin (superhet olarak ta kısaltılır), doğrudan örnekleme (direct sampling) ve doğrudan çevirme (direct conversion) olup birbirlerine göre üstünlük ve zayıflıkları bulunmaktadır. Diğer taraftan doğrudan çevirme yapısı, sıfır-IF ya da homodin yapı olarak ta bilinir. Süperheterodin mimari, en iyi performansı veren kanıtlanmış bir yapı olarak öne çıkmaktadır. Temelde ön seçici filtre, frekans karıştırıcı ve yerel osilatörden oluşan yapı, aldığı RF sinyalini frekans karıştırıcı yardımıyla ara frekans (IF) sinyaline çevirir. Çok iyi kararlılık, duyarlılık ve seçicilik sunar. Bu yapının uygulanabilir olması için IF frekansı olabildiği kadar yüksek seçilir ki, hayal frekansı (image) ve yerel osilatör (Local Oscillator-LO) sinyalleri bastırması mümkün olduğunca yüksek olsun. Seçilecek iyi bir frekans planlamasıyla çok iyi bir sahte sinyal (spurious) ve gürültü performansı elde edilebilir. LO sızmasını ve istenmeyen frekans bileşenlerini süzmek üzere çok fazla filtre ihtiyacı bulunması en büyük dezavantajdır. Alıcı mimarilerinin karşılaştırması Tablo- 1' de verilmiştir.



Şekil-1. Geleneksel RF (radio frequency) alıcılarda en çok kullanılan üç temel yapı

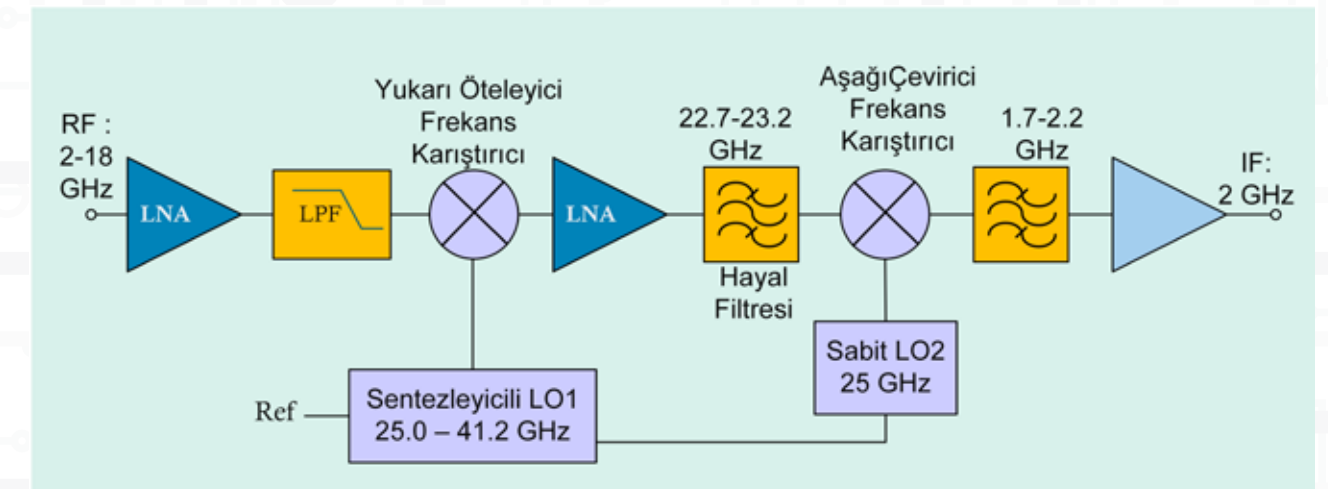


Tablo - 1 Günümüzde Geniş Bant RF Verici/ Alıcı donanımları

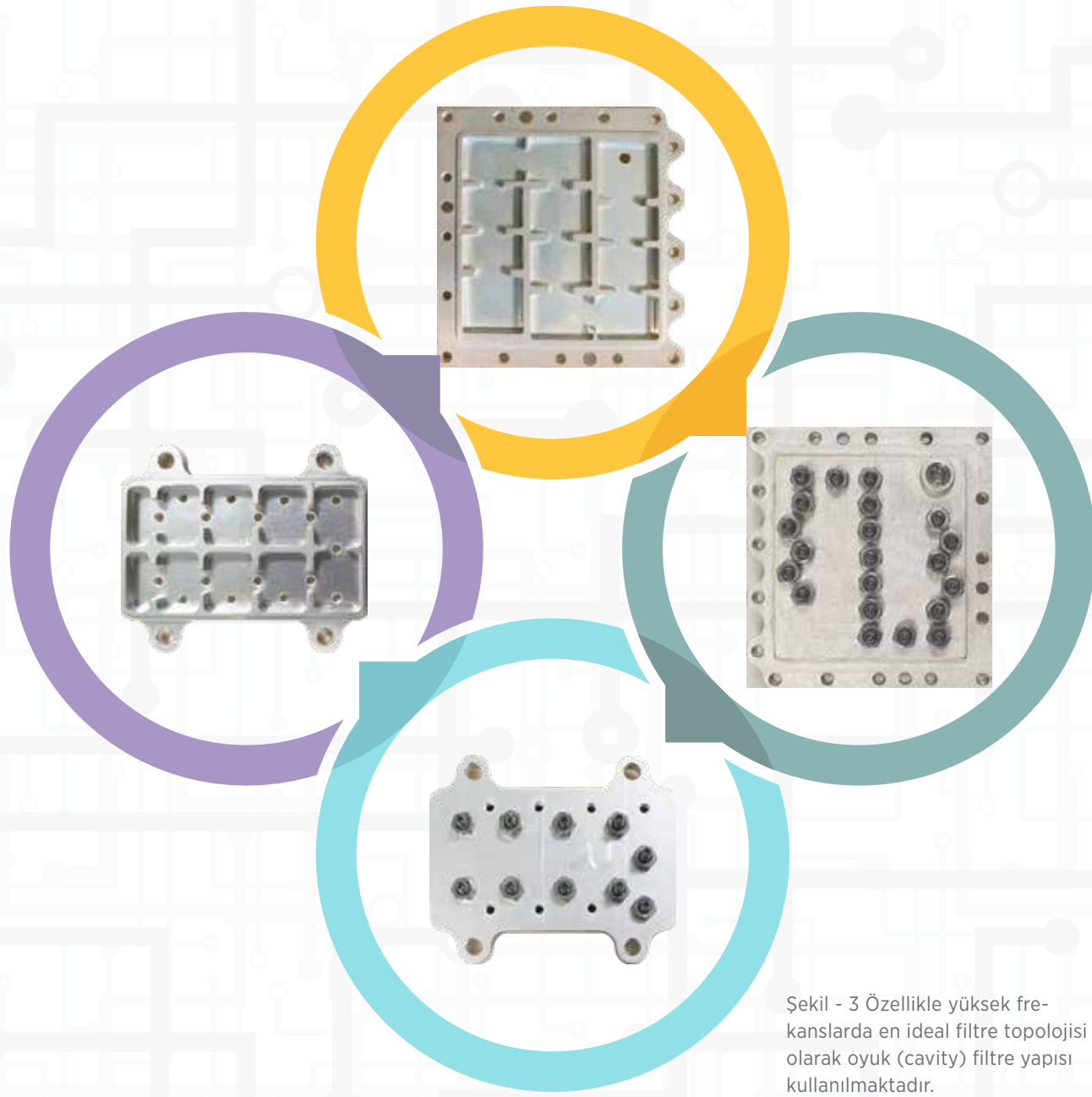
Alıcı Mimarisi	Avantaj	Dezavantaj	Notlar
Superhet	Yüksek seçicilik	Hayal frekansı Tümdevre dışında çok komponent gerektirmesi	İntegrasyonu zor Yeniden konfigüre edilmesi zor
Sıfır-IF	Hayal frekansı oluşmaması Tümdevre dışında komponent gerektirmemesi	DC offset Flicker gürültüsü	İntegrasyonu kolay Yeniden konfigüre edilmesi kolay
Düşük-IF	Düşük DC offset Düşük Flicker gürültüsü	Hayal frekansı	İntegrasyonu zor Yeniden konfigüre edilmesi kolay
İkili Dönüşüm	Düşük DC offset Düşük flicker gürültüsü	Çok fazla komponent	İntegrasyonu kolay Yeniden konfigüre edilmesi kolay Ciddi ADC tasarım kısıtlamaları

Günümüzde Geniş Bant RF Verici/ Alıcı donanımları; Sinyal İstihbarat (SIGINT), Elektronik Harp (EW) ve Radar sistemlerinde de yaygın olarak süperhet türevi bir mimari olan "en az filtreli ikili dönüştürücü" yapıyla kullanılmaktadır (Şekil- 2). Bu yapıda frekans dönüştürme mimarisi, alınan bir sinyalin ikili dönüşümünü içerir. Ağıştaki RF sinyali önce alt milimetre dalga frekanslarında bir ara frekans (IF) sinyale çıkarılır, ardından filtrelenir ve sonrasında daha düşük frekanslı ikinci bir ara frekansa düşürülür. Bu teknik sayesinde karmaşık anahtarlamalı mikrodalga filtre bankalarının kullanımına ihtiyaç duyulmaz. Bu tekniğin gerçekleşmesi milimetre dalga frekansında sentezleyicili osilatörlere ihtiyaç duyması nedeniyle eskiden çok maliyetliydi. Monolitik-mikrodalga tüm devre (MMIC) teknolojisi ile üretilen yüksek performanslı ticari kullanıma hazır (COTS) frekans dönüştürücülerin ortaya çıkmasıyla daha uygun maliyetli duruma geldiler. Ayrıca teknolojiye bu gelişmeler, süperheterodin topolojisinin yüksek karmaşıklık, yüksek hacim ve ağırlık faktörünü de düşürmüştür.

Geniş bant sistemler; özellikle ELINT/SIGINT ve EW uygulamaları için RF sinyallerini mümkün olan en düşük sinyal seviyelerinde ve mümkün olan en hızlı alım hızlarıyla algılamaya çalışır. Bu tür gereksinimler, bir geniş bant frekans dönüştürücünün aşağıdaki özelliklere sahip olmasını gerektirir:



Şekil - 2 Geniş bant sistemler; özellikle ELINT/SIGINT ve EW uygulamaları



Şekil - 3 Özellikle yüksek frekanslarda en ideal filtre topolojisi olarak oyuk (cavity) filtre yapısı kullanılmaktadır.

- Spurious sinyallerinin aşağı dönüştürülmüş IF frekans bandına girmemesi için dikkatli bir frekans planı,
- Gerekli olan sinyal hassasiyet seviyelerini karşılayabilecek düşük gürültü sayısına sahip ön alıcı yükselteçler,
- Yüksek doğrusalılık,
- Interferans, sinyal bozucu ve bloke edici sinyallerin varlığında etkin bir şekilde çalışma yeteneği,
- Yerel osilatör ve verici sinyal sızıntılarının azaltılması,
- Kabul edilebilir sinyal-gürültü oranı (SNR), faz-gürültü performansı ve gürültü seviyeleri.

Yarı iletken bileşenlerin (örneğin, frekans karıştırıcılarında kullanılan diyotlar ve tranzistörler) doğrusal olmayan özellikleri nedeniyle, frekans karıştırıcıda eklenen ve çıkarılan RF / LO frekanslarının harmonikleri, spurious sinyal ürünlerinin sayısız kombinasyonunu oluşturur.

Filtreler, bant içi IF yanıtlarına neden olan bant dışı RF sinyallerini bastırmayı sağlar. Frekans karıştırıcıyı takip eden IF filtre hassasiyeti, yalnızca istenen frekansları geçirecek şekilde belirlenir, böylece son dedektör veya sinyal işlemcisinden önceki spurious sinyalleri filtrelenmiş olur. Ancak, IF bandının içine girebilecek spurious sinyalleri IF filtreleri tarafından zayıflatılmayacaktır. Bu nedenle, geniş bant dönüştürücülerde spurious sinyallerinin IF bandına girmemesi için dikkatli bir frekans planlaması yapılır. Spurious sinyallerini daha da fazla bastırabilmek üzere bu mimariye, girişte çeşitli bantlarda yüksek geçiren filtreler ve frekans üst çeviriciden önce ilave alt geçiren filtreler ekleyerek 20-30 dB daha iyi bastırma elde edilebilir.

En az filtrelili ikili frekans alt çevirici mimarisi; hafif, minyatür ve düşük maliyetli tasarımları destekler. Ancak en büyük zaafı ön seçim filtrelemesinin olmaması nedeniyle yüksek düzeyde interferans ve karıştırmaya karşı duyarlı olmasıdır.

Günümüzde bu mimariyi gerçekleştiren kullanılabilir bileşenler, çeşitli ticari firmaların portföylerinde mevcuttur. Özellikle 4G/5G ve gelecek olan 6G mobil haberleşme teknolojilerinde hızla yenilenen bileşen teknolojileri geniş bant alıcı mimarilerinin gerçekleştirilmesini de kolaylaştırıp ucuzlatmaktadır. Örneğin LO ve filtreler konusunda UlraBAW (Bulk Acoustic Wave) teknolojisi ile 7.2GHz' e kadar filtre bileşenleri üretilmekteydi. LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramics) teknolojisi sayesinde ise 40 GHz frekans bandına kadar istenilen bant genişliklerine cevap verebilen ve 0603 boyutlarına kadar küçültülmüş SMT (Surface Mount Technology) filtreler günümüzde hazır ya da müşteri isteğine göre tasarlanıp kullanılmaktadır. Bu filtre bileşenlerinin de seçicilikleri ve araya girme kaybının yeterli olmadığı durumda, tasarımcı yine kendi filtresini tasarlamak zorundadır. Özellikle yüksek frekanslarda en ideal filtre topolojisi olarak oyuk (cavity) filtre yapısı kullanılmaktadır (Şekil- 3).

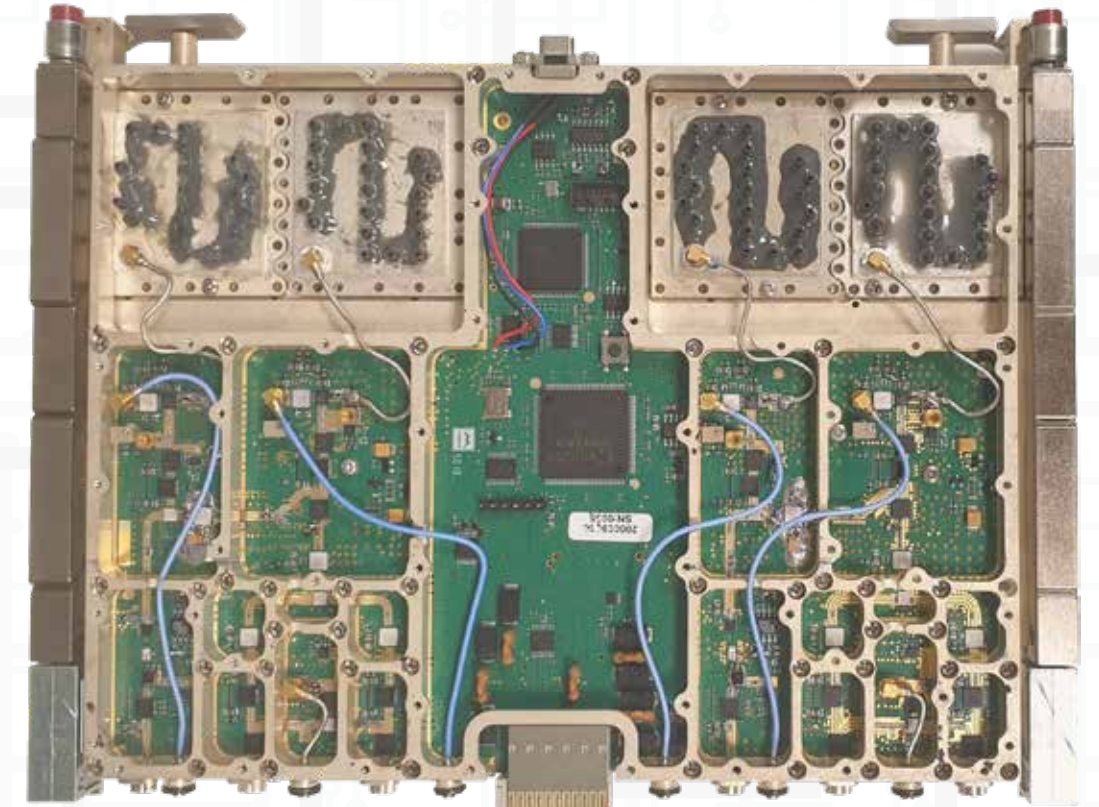
TÜBİTAK BİLGEM'in elektronik harp sistemleri için geliştirdiği 2-18 GHz frekans bandında çift kanal 750 MHz bant

Sentezleyicili Yerel Osilatörler

Geniş bant alıcı ve vericilerin en önemli diğer bileşeni, sentezleyicili yerel osilatör katı olup günümüze kadar çeşitli evrelerden geçerek, kullanılacak sistemlerin özgün ihtiyaçlarına cevap verebilen topolojiler icat edilmiştir. Şekil- 5' de belirtildiği üzere, doğrudan üretim ya da dolaylı üretim mimarileri olarak iki türde gruplandırılan frekans sentezleyici yapılarında sentezleme, sayısal (frekans domeninde) ya da analog (zaman domeninde) yapılabilir. Doğrudan analog sentezleyicilerin en önemli avantajı, nanosaniyelere kadar inen çok hızlı frekans anahtarlamaya sahip olmasıdır.

Doğrudan analog sentezleyicilerin en önemli avantajı, nanosaniyelere kadar inen çok hızlı frekans anahtarlamaya sahip olmasıdır.

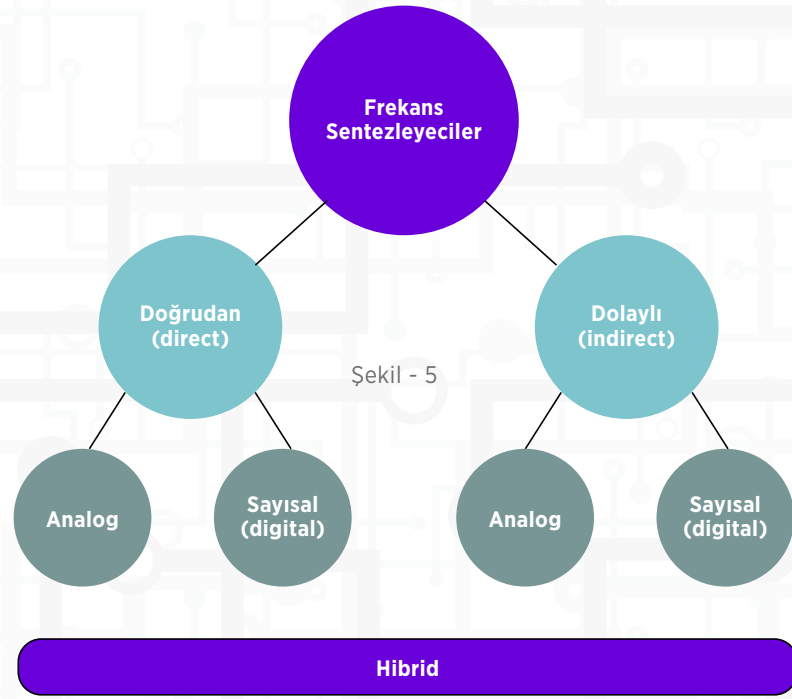
Diğer önemli avantajı düşük faz gürültüsü üretmesidir. Faz gürültüsü doğrudan referans frekans kaynağının gürültüsüne eş değerdir. Önemli dezavantajı ise çıkış frekans sinyali sayısının doğrudan kullanılacak referans sinyalleri sayısı ile belirlenmesidir. Diğer ciddi problemi ise frekans karıştırıcı kullanıldığı için spurious sinyallerinin fazla olmasıdır.



Şekil - 4 TÜBİTAK BİLGEM'in elektronik harp sistemleri için geliştirdiği 2-18 GHz frekans bandında çift kanal 750 MHz bant genişlikli Frekans Alt Çevirici Kartının gerçekleştirilmiş halidir.

genişlikli Frekans Alt Çevirici Kartının gerçekleştirilmiş hali Şekil- 4' tedir.

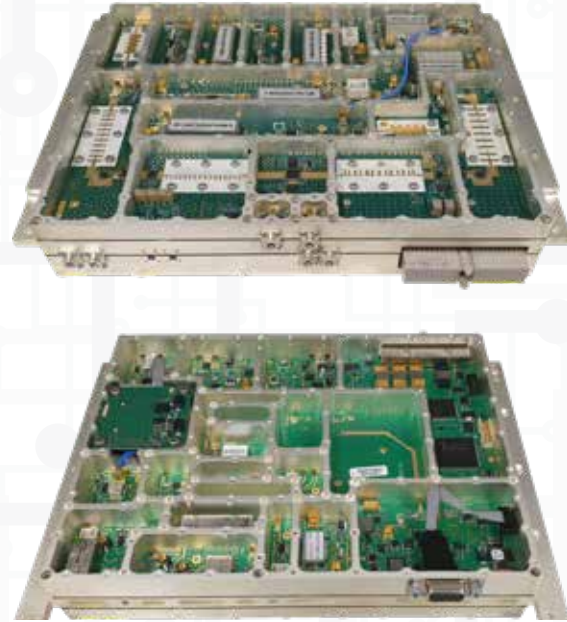
Doğrudan sayısal sentezleme (Direct Digital Synthesizer-DDS) yapısı, girişteki referans bir saat (clock) sinyalinden sayısal yolla hızlı bir sinyal üretme yöntemidir. Dar bantlı ve spurious içermektedir. Oldukça hızlı işaret



Şekil - 5

alçak geçiren filtreler sayesinde spurious sinyallerinin düşük olmasıdır. Diğer taraftan uzun süreli anahtarlama zamanı en büyük dezavantajdır. Kötü olan faz gürültüsünü iyileştirmek üzere çeşitli faz kilitleme teknikleri kullanılır. Sayısal sentezleyicilerin çıkışındaki spur seviyesini azaltmak için de çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Şekil- 6' da en popüler mimarilerin hızlı bir karşılaştırması yapılmıştır.

Bunların yanında hem hızlı hem de daha az spurious olacak biçimde hibrit (analog+sayısal) teknikler de kullanılmaktadır. Hızlı ve dar bantlı sinyal sentezlendikten sonra bu yapının analog olarak yüksek frekanslara taşınması biçiminde... TÜBİTAK BİLGEM' in radar ve EH projelerindeki alıcı/verici sistemlerinin Sentezleyicili Yerel Osilatör kartlarında bu tür teknikler kullanılmaktadır. Şekil- 7' de 6U' luk LRU (Line Replaceable Unit) biçiminde paketlenmiş çift yüzlü bir BİLGEM Sentezleyicili LO-kartı görülmektedir.

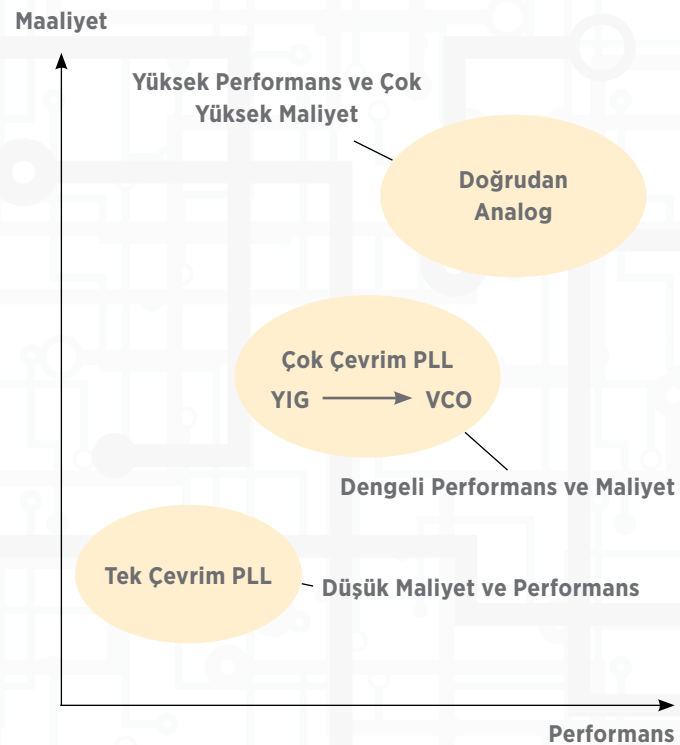


Şekil - 7 6U' luk LRU (Line Replaceable Unit) biçiminde paketlenmiş çift yüzlü bir BİLGEM Sentezleyicili LO-kartı

Kaynakça

- [1] <http://mwrf.com/active-components/differences-between-receiver-types-part-2>
- [2] <https://www.mwrf.com/technologies/systems/article/21846688/investigate-wideband-frequency-converters>
- [3] https://www.highfrequencyelectronics.com/Sep08/HFE0908_Chekin5.pdf
- [4] <https://www.analog.com/en/technical-articles/a-review-of-wideband-rf-receiver-architecture-options.html>
- [5] https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/reffiles/About-Anritsu/R_D/Technical/94/94-07.pdf

sentezlemesi vardır. Bu hızın mertebesi doğrudan kontrol arayüzünün kapasitesine bağlıdır. Kitlenme süresi de çok hızlıdır. En önemli avantajı çok hassas frekans çözünürlüğü sağlamasıdır. Örnekleme ve analog/sayısal çevirme işlemlerinden dolayı oluşan spurious' lar yüksektir. Dolaylı PLL (Phase Locked Loop) sentezleyiciler ilave yüksek frekanslı bir voltaj kontrollü osilatör (VCO) 'ün fazının sayısal ya da analog olarak kitlenmesiyle oluşturulan yapılardır. En önemli avantajı, PLL sentezleyicilerin çevrim içindeki



Şekil - 6 Kötü olan faz gürültüsünü iyileştirmek üzere çeşitli faz kilitleme teknikleri

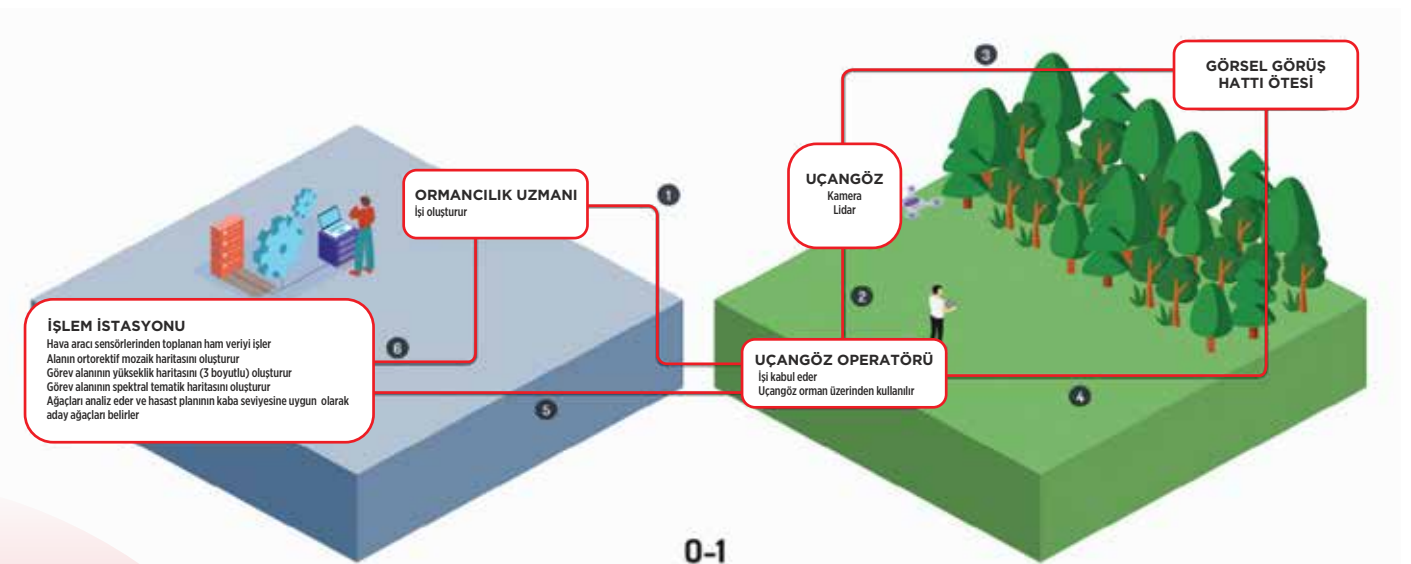
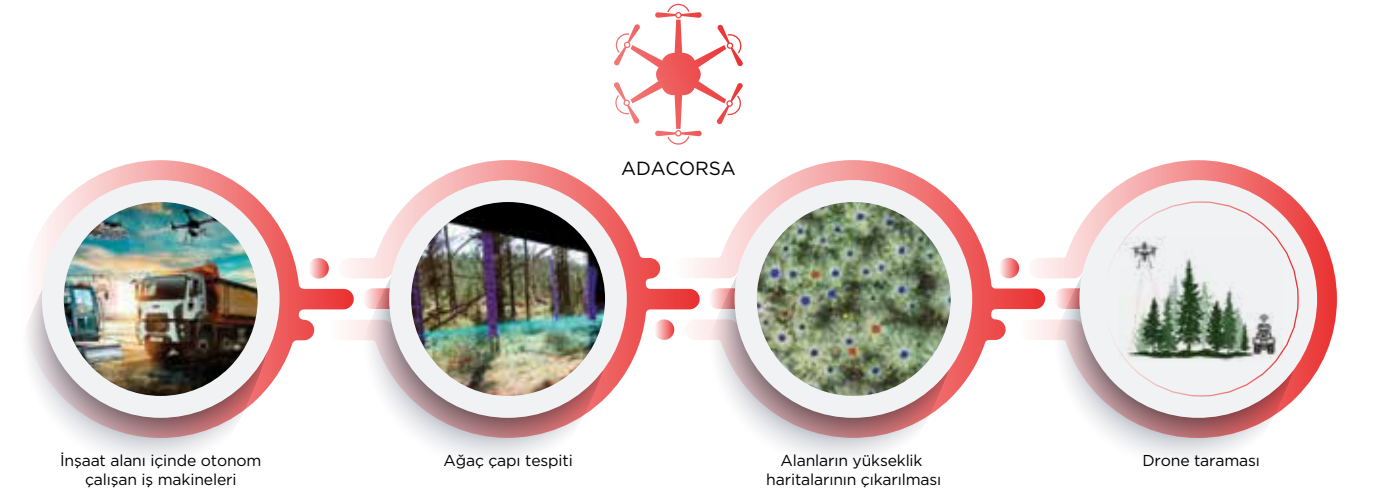
ADACORSA

Esnek Sistem Mimarileri Üzerinde Havadan Veri Toplama

TÜBİTAK BİLGEM, 12 farklı ülkeden 49 kuruluşu bir araya getiren HORIZON 2020 Çağrısı kapsamında yer alan ADACORSA Projesi'nde ülkemizi temsil eden taraflardan biridir.

Şantiye içerisinde otonom çalışan insansız inşaat araçlarının drone ile koordineli çalışmasını sağlamak için, içerisinde yapay zekâ teknikleri ile çok-ajanlı yol planlama araç görev planlama ve zamanlama modüllerini içeren bir algoritma tasarlanacaktır.

Elektro-Optik ve multispektral (MSI / HSI) kameralarla donatılmış insansız hava araçları kullanımıyla ağaç türlerini belirlemek, yaşlı / ölü ağaçları tespit etmek, orman envanteri ve kereste hacim tahmini yapmak için uzaktan algılama, görüntü işleme analiz teknikleri ve teknolojilerinin yardımıyla derin öğrenme modelleri ve algoritmalarının geliştirilmesi planlanmaktadır.



RADAR SİSTEMLERİNDE

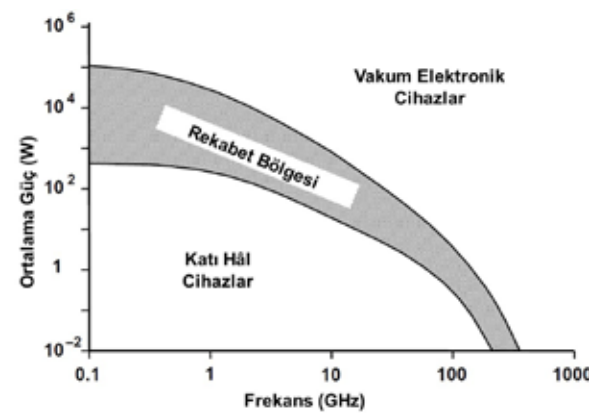
Vakum tüp teknolojileri



Radarlar cisimlerin mesafe, açı ve hız gibi özelliklerini tespit etmek için elektromanyetik (EM) dalgaları kullanan sistemlerdir. EM dalgaları istenilen mesafelere ulaştırmak için ise RF güç yükselteçleri kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan birçok radar sistemindeki RF güç yükselteçleri için vakum mikrodalga cihazları vazgeçilmez konumda bulunmaktadır [1].

Mikrodalga Cihazların Etkinlik Alanı

Mikrodalga tüpleri, elektromanyetik tayfın mikrodalga bandına (0.1 – 100 GHz) düşen frekansları üretmek ya da yükseltmek için kullanılan vakum elektron cihazlarıdır. Katı hâl cihazlar ortaya çıkmadan önce, tüm güç seviyelerinde ve mikrodalga bandının tamamında mikrodalga vakum tüpleri kullanılmaktaydı. Günümüzde yüksek güç ve yüksek frekans gerektiren radar uygulamalarında vakum tüplerinin hâkimiyeti devam etmektedir. Katı hâl cihazlar ise çoğunlukla görece daha düşük güç ve frekanslarda kullanılmaktadır. Şekil 1'deki grafik, vakum ve katı hâl cihazların frekans ve ortalama güç bazında etkinlik alanlarını göstermektedir [2].



Şekil 1. Mikrodalga vakum tüplerinin ve katı hâl cihazların baskın olduğu ortalama güç ve frekans aralıkları [2]

“Katot, genellikle bir mikrodalga vakum cihazının kullanım ömrünü belirleyen en kritik bileşendir.”

Genel olarak mikrodalga vakum tüpleri katı hal cihazlara göre daha verimlidir. Tüp verimleri, çeşitli alt bileşen teknolojilerinin yardımıyla %70'e kadar ulaşmaktadır. Mikrodalga vakum tüpleri katı hal cihazlara göre daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Bu durum yüksek verim ile bir araya geldiğinde vakum tüplerinin daha küçük ve daha hafif olması ancak buna rağmen atık ısıyı bertaraf edebilmesi anlamına gelmektedir. Bazı mikrodalga tüplerin yüksek bant genişliğine sahip olması birçok radar uygulaması için büyük önem taşımaktadır [2].

Mikrodalga Tüp Çeşitleri

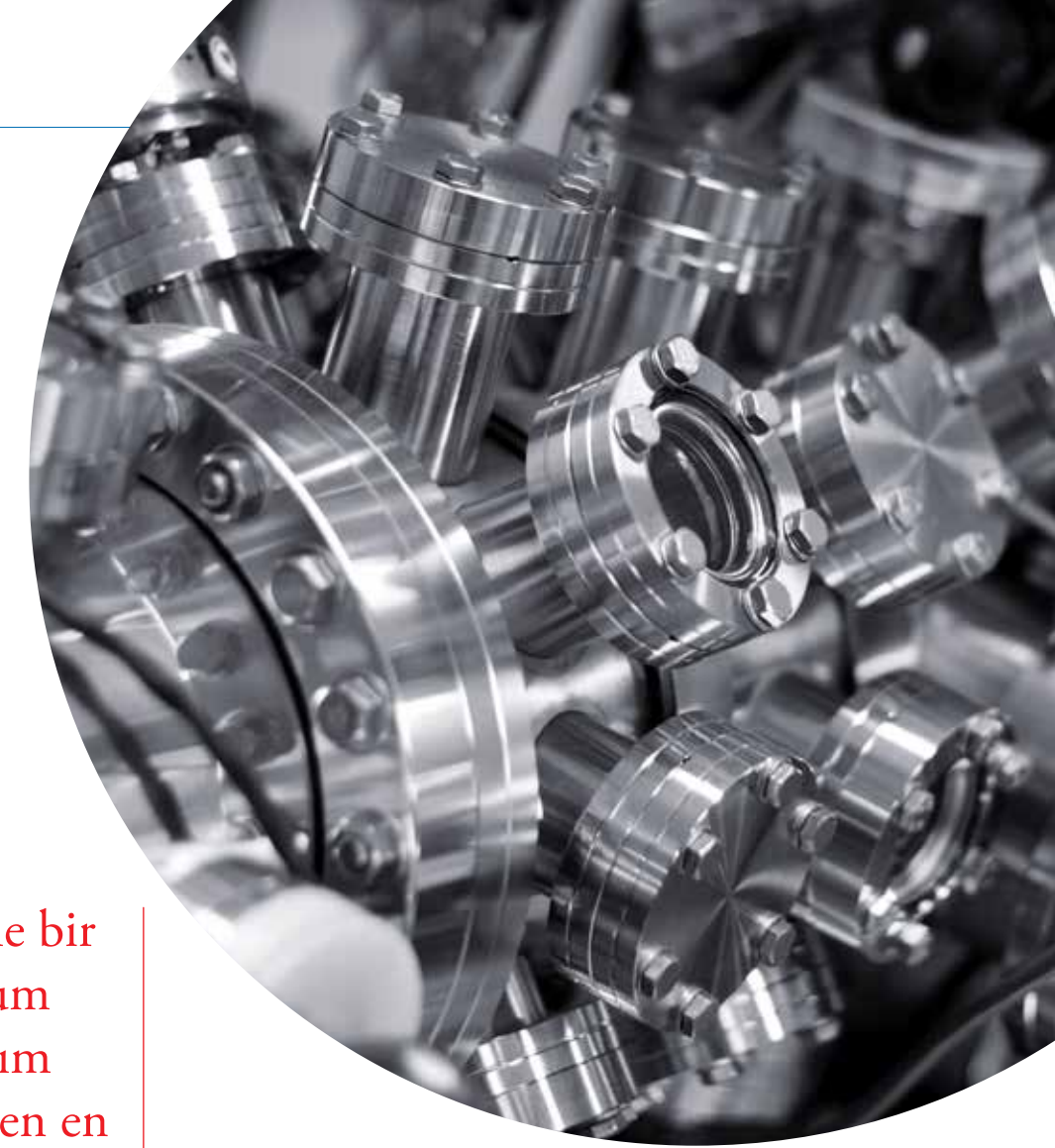
Mikrodalga tüplerden birçoğu İkinci Dünya Savaşı'ndan önce icat edilmiştir. Bu tüplerden ikisi olan magnetron ve klistron (klystron), savaş sırasında radarlarda kullanılmak üzere yoğun bir geliştirme süreci geçirmişlerdir. İkinci Dünya Savaşı sonrasında da birçok farklı mikrodalga tüp icat edilmiştir. Magnetron ve klistrondan sonra yaygın kullanılan mikrodalga tüpler arasına giren diğer cihazlar ise yürüyen dalga tüpleri (traveling wave tube, TWT), çapraz alan yükselteçleri (crossed-field amplifier, CFA) ve gyrot-

ronlardır [2].

Mikrodalga vakum tüpler, yapıları ve içlerinde yer alan elektrik ve manyetik alan doğrultuları göz önünde bulundurularak üç sınıf altında incelenebilir. Bunlar doğrusal demet, çapraz alan ve hızlı dalga tüpleridir. Örneğin bir güç yükselteci olan TWT'de elektron demeti katot-anot arası yolu doğrusal bir şekilde alır ve manyetik alan da elektronların gidiş doğrultusu ile paraleldir. Bu sebeple TWT doğrusal demet tüpleri sınıfına girmektedir. Öte yandan bir mikrodalga üreteç olan magnetron, elektron demetinin gidiş doğrultusu manyetik alana diktir ve elektronlar katot etrafında döner şekilde yol alır. Bu sebeple magnetron çapraz alan tüpleri sınıfında yer almaktadır [2].

Yürüyen Dalga Tüpü (TWT)

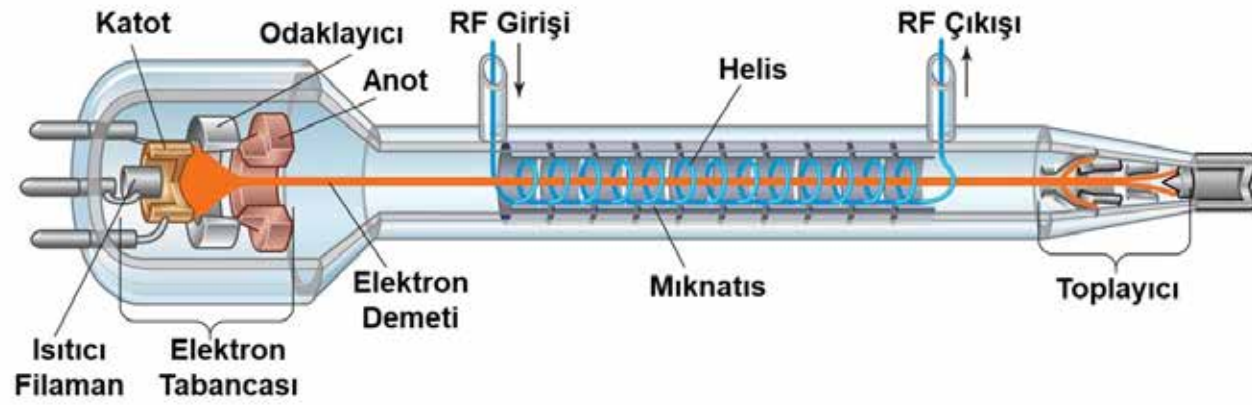
Yürüyen dalga tüpünde (TWT) RF devresi sürekli. Böylece sinyal, tıpkı bir iletim hattında olduğu gibi devre boyunca dolaşmaktadır. Devre, sinyalin hızının elektron demetinin hızıyla neredeyse aynı olacak şekilde tasarlanmaktadır. Tasarım aynı zamanda sinyalin elektrik ala-



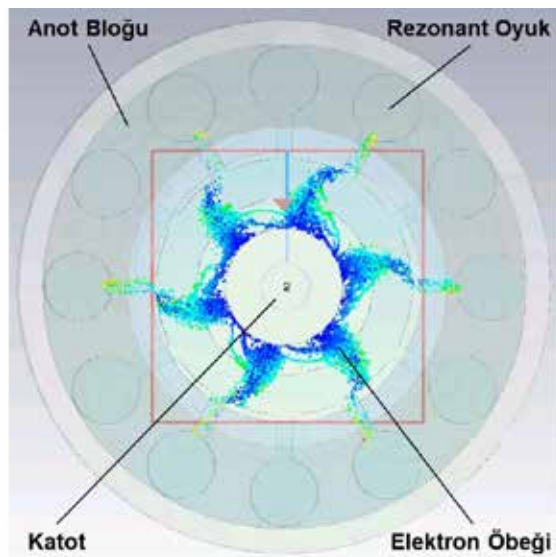
ninin elektron demetine nüfuz edebileceği şekilde yapılmaktadır. Sinyalin elektrik alanından kaynaklı olarak bazı elektronlar hızlanmakta bazıları ise yavaşlamaktadır ve böylece elektronlar öbeklenmektedir. Bu elektron öbekleri yakınındaki devreden geçen devrede bir RF akımı indükler ve bu da devre üzerindeki RF alanının genliğinin artmasını sağlar. Devredeki bu artış da demetteki öbeklenme hareketini destekleyecek bir etki yapar. Bu döngü sırayla devam eder ve sonunda yükseltilmiş sinyal devreden çekilir. Bir TWT'nin kazancı genellikle 30 ile 50 dB aralığındadır ve bant genişliği %20'den başlayıp 2 oktavın üzerine kadar çıkabilmektedir. Çıkış gücü, çok geniş bantlı TWT'ler için onlarca watt mertebesindeyken, dar bantlı TWT'lerde yüzlerce kilowatt hatta megawatt seviyelerine kadar çıkabilmektedir [2].

Şekil 2, bir helis TWT'nin iç yapısını göstermektedir [3]. TWT'nin yapısı dört ana bölümden oluşmaktadır: elektron tabancası, manyetik odaklama düzeni, yavaş dalga yapısı

ve toplayıcı. Elektron tabancası, içerisinde elektron kaynağı olan katodu barındırır. Aynı zamanda yayılan elektron demetini tüp boyunca ilerlemesi için ivmelendirir ve yavaş dalga yapısı ile uygun etkileşime sağlanması için odaklar. Manyetik odaklama düzeni, bir dizi mıknatıstan oluşur ve elektron tabancasının belirli bir çapa sıkıştırmış olduğu elektron demetini tüp boyunca çapının aynı kalmasını sağlamak için odaklamaya devam eder. Yavaş dalga yapısı, RF sinyalinin üzerinde taşır ve elektron ile etkileşimin sağlanması için RF sinyalinin elektron gidiş doğrultusundaki hız bileşenini yavaşlatır. Bunu örneğin helis TWT'lerde RF sinyalin taşıdığı telin sarım sayısının uygun miktarda artırılması sonucunda gerçekleşir. Son olarak toplayıcı, gücünün bir kısmını RF sinyaline aktaran "kullanılmış elektronlar"ı frenler ve aynı zamanda enerji geri kazanımı sağlar. Gerçekleşen bu etkileşimler sonucunda yavaş dalga yapısı girişine verilen RF sinyal, çıkış portundan kuvvetlendirilmiş olarak alınır [2].



Şekil 2. TWT'nin alt bileşenleri [3]



Şekil 3. Magnetronun iç yapısı ve elektron öbeklerini gösteren bir benzetim çalışması

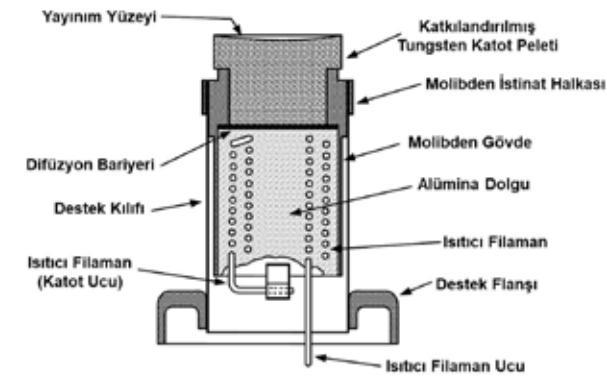
Magnetron

Magnetronlarda elektron kaynağı olan katot merkezde silindirik bir yapıda bulunmaktadır. Elektron akışı aynı zamanda anot görevi de gören RF devresine doğru radyal olarak dışa doğrudur. Magnetronlarda katot-anot arasındaki elektrik alana dik olacak şekilde bir manyetik alan uygulanır. Böylece elektronlar katot etrafında çember çizerek hareket etmektedirler. Ortamda bir RF alanı mevcut olduğunda, elektronlar bir otomobil jantı şekline benzer bir yapıda öbeklenmektedir [2]. Şekil 3'te magnetronun iç yapısı ve öbeklenmiş elektronlar görülmektedir. Magnetron, RF devresi rezonant oyuklardan oluşan bir salınıcıdır. Oyuklar, her bir oyukta üretilen RF manyetik alanının bitişik oyuğa akupla olacak şekilde tasarlanmaktadır. Böylece ideal olarak tüm oyuk yapısı bitişik boşluklardaki RF elektrik alanının 180° faz dışı olduğu tek bir frekansta rezonansa girer. RF alanı salınırken, alan deseni oyuk boşlukları boyunca katot etrafında döner. Eğer bir

elektron öbeği, katot etrafında, anottaki alan deseni ile eş zamanlı bir şekilde dönüyorsa, o zaman öbek, her seferinde tek oyuğa, oyuktaki salınımı güçlendirecek bir akım indükleyecek şekilde ulaşabilmektedir. Magnetronun çıkış gücü megawattlar olabilmektedir ve %88'e kadar verimlilik değerleri raporlanmıştır [2].

Termiyonik Katot

Mikrodalga vakum cihazlar birçok önemli bileşenden oluşur ve her bir alt bileşen bünyesinde kendine has kritik teknolojiler barındırır. Fakat bu bileşenlerin şüphesiz en önemlisi katottur. Katot, genellikle bir mikrodalga vakum cihazının kullanım ömrünü belirleyen en kritik bileşendir. Katot her mikrodalga tüpte yer alan ve elektron demetini oluşturan elektronların kaynağı görevini gören bileşendir. Birbirinden oldukça farklı yayılım mekanizmasına sahip katot çeşitleri bulunmaktadır. Mikrodalga tüplerde kullanılan katotların büyük bir çoğunluğu termiyonik yayılım mekanizması ile çalışan katotlardır. Termiyonik katotlarda elektron yayılımının oluşması için katodun ısıtılması gereklidir. İki tip termiyonik katot bulunmaktadır. Doğrudan ısıtılmalı katotta filaman katottur ve elektron yayılımı filamandan yapılır. Dolaylı ısıtılmalı katotta ise ayrı bir akım ile beslenen filaman ısıtmadan sorumluyken, elektron yayılımını yapan elektriksel olarak bağımsız bir metal yüzey bulunmaktadır [4]. Şekil 4'te dolaylı ısıtılmalı bir dispenser katodun iç yapısı görülmektedir [2].



Şekil 4. Bir dispenser katodun iç yapısı [2]

Termiyonik yayılım mekanizmasını ilk olarak açıklayan ve bu çalışması ile 1928 Nobel Fizik Ödülü'nü kazanan kişi İngiliz fizikçi Owen Willans Richardson'dır. Daha sonraları Rus kimyager Saul Dushman'ın katkılarıyla günümüzde kullanılan ve Richardson-Dushman denklemi olarak adlandırılan eşitlikte termiyonik katodun akım yoğunluğunu belirleyen değişkenler sıcaklık ve iş fonksiyonudur. Sıcaklığın artması akım yoğunluğunu artırırken, malzemenin iş fonksiyonu ise tam tersi etki yapmaktadır. İş fonksiyonu bir katıdan bir elektron koparabilmek için gerekli olan asgari enerjidir. TWT gibi doğrusal demet tüplerinde kullanılan katotların tipik çalışma sıcaklığı 1000°C'nin biraz

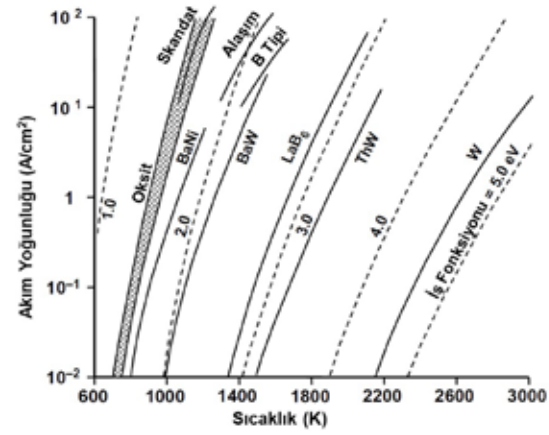
üzerindedir. Katotta kullanılacak malzemelerin hem bu sıcaklığa dayanabilmesi hem de istenilen akım yoğunluğu değerlerini elde edebilmek için iş fonksiyonlarının oluşturulmuş olması gerekmektedir. Dolayısıyla katot üretiminde malzeme bilimi büyük rol oynamaktadır. Tablo 1'de bazı metallerin iş fonksiyonu ve erime sıcaklıkları verilmiştir.

Metal	İş Fonksiyonu [ev]	Erime Sıcaklığı [°C]
Baryum	2.7	725
Kalsiyum	2.9	839
Karbon	5.0	-3550
Sezyum	2.1	28
Molibden	4.5	2620
Osmiyum	5.4	3045
Platin	5.3	1773
Renyum	5.1	3180
Skandiyum	3.5	1539
Tantal	4.2	2996
Tungsten	4.6	3410

İş fonksiyonu malzemenin kristal yapısına bağlıdır. Bu listedekiler ortalama değerlerdir.

Saf metaller incelendiğinde düşük iş fonksiyonuna sahip olan malzemelerin aynı zamanda düşük erime sıcaklığına sahip oldukları görülmektedir. Örneğin 2.1 ev iş fonksiyonuna sahip olan sezyum neredeyse oda sıcaklığında (28°C) erimektedir. Baryum da oldukça düşük bir iş fonksiyonuna sahip olmasına rağmen, katot çalışma sıcaklıkları göz önüne alındığında pek de yüksek olmayan bir erime sıcaklığına (725°C) sahiptir. Fakat baryum, yüksek erime noktasına sahip metaller ile birlikte bulunduğu yüzeyin iş fonksiyonunu düşürebilme kabiliyetinden dolayı termiyonik katotlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Böylece tungsten ve osmiyum gibi erime noktası yüksek metaller de iş fonksiyonları yüksek olmasına rağmen kullanılabilirler [2].

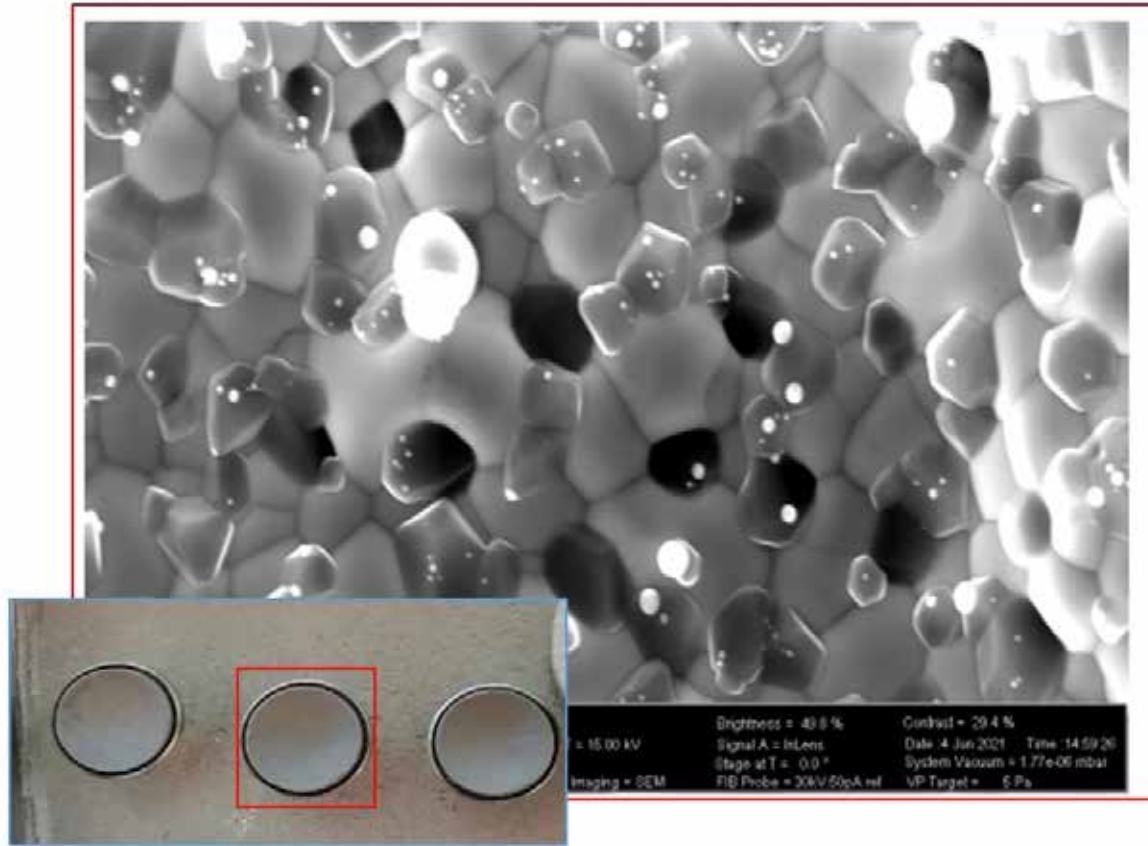
Farklı katot tipleri incelendiğinde istenilen akım yoğunluğunun elde edilebilmesi için çok farklı sıcaklık değerlerine ulaşılması gerektiği görülmektedir. Genellikle çalışma sıcaklığı ne kadar düşükse katodun ömrü de o kadar uzun olmaktadır. Katodun ömrü de doğrudan mikrodalga vakum cihazının ömrünü belirlemektedir. Bu yüzden katodun çalışma sıcaklığını düşürmeye yönelik yapılan çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Örneğin mikrodalga vakum tüp için gereken katot akım yoğunluğu değerini 10 A/cm² olarak ele alalım. Saf tungsten kullanıldığında çalışma sıcaklığı yaklaşık 3000 K olmaktadır. Gözenekli



Şekil 5. Farklı tip katotların sıcaklık-akım yoğunluğu eğrileri [2]

tungsten içine baryum oksit, kalsiyum oksit ve alümina katkılandırıldığı zaman (B tipi katot olarak adlandırılır) gerekli sıcaklık değeri yaklaşık 1400 K'dir. Geliştirilmesi günümüzde hâlâ devam eden skandiyum katkı katotlarda ise bu değer 1100 K'lere kadar düşmektedir (Şekil 5) [2].

TÜBİTAK BİLGEM BTE B150-Yüksek Güç Mikrodalga Teknolojileri Birimi'nde baryum oksit, kalsiyum oksit ve alümina ile katkılandırılmış B tipi ve ince film kaplama yapılmış M tipi dispenser katotlar üretilmektedir. Skandiyat katot ise geliştirilmeye devam edilmektedir. Şekil 6'da BİLGEM'de üretilmiş olan katotlar ve bir katodun yüzeyin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 6. TÜBİTAK BİLGEM'de üretilmiş dispenser katotlar ve bir katodun yüzey SEM görüntüsü

Kaynakça

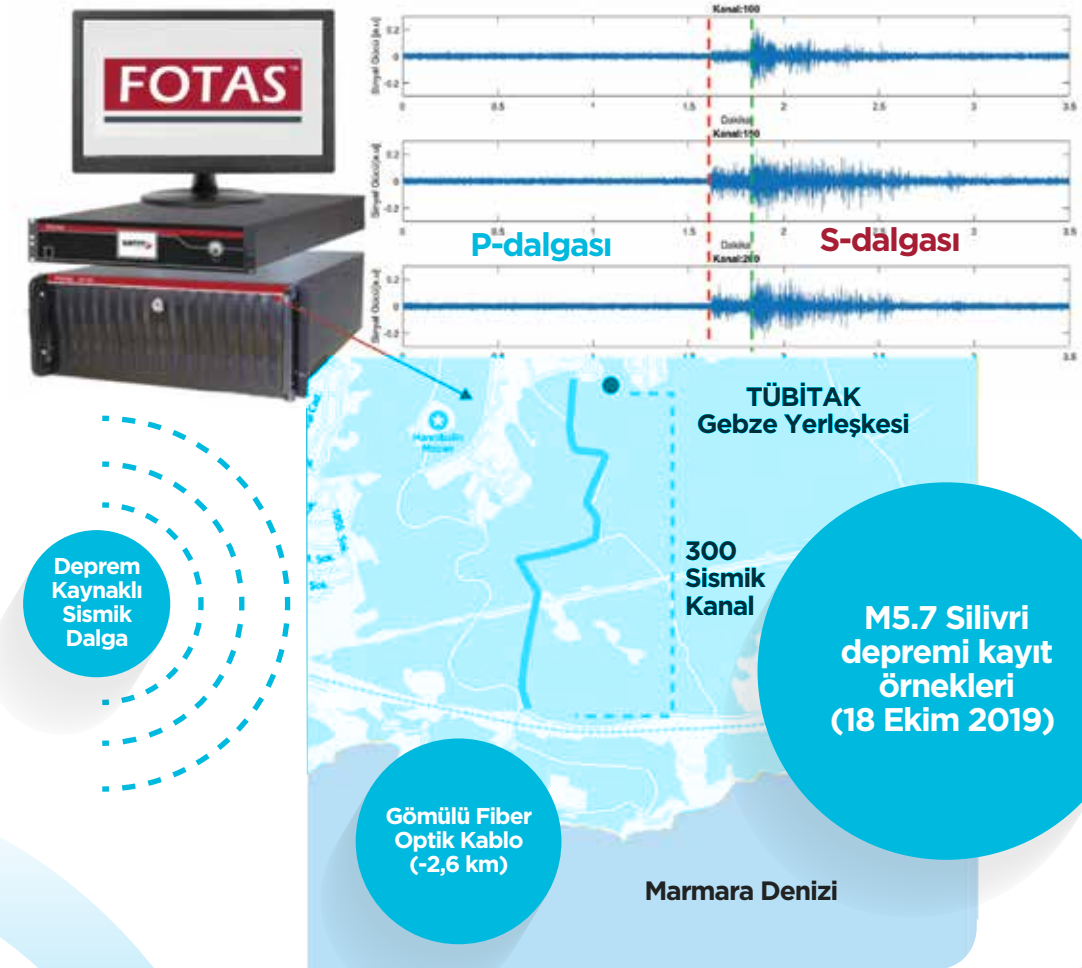
- [1] Pekka Eskelinen. Introduction to RF Equipment and System Design. Boston: Artech House, 2004.
- [2] A. S. Gilmour, Jr., Klystrons, Traveling Wave Tubes, Magnetrons, Crossed-Field Amplifiers, and Gyrotrons. Boston: Artech House, 2011.
- [3] Jun-Hui Yin, Li Xu, Peng Xie, Zhong-Hai Yang, Bin Li. "Traveling-wave tube mechanics simulator suite a CAD/CAE integrated rapid redesign system of vibration analysis for traveling-wave tubes". Advances in Engineering Software 128 (2019): 169 - 186.
- [4] Nergis Yıldız Angın Atmaca, Emirhan Postacı, Hasan Erciyas, Özlem Akman Gökçel, Selahattin Nesil, Emrah Billur, Feyzullah Yayıl, Esra Alveroğlu Durucu. "3-D Modeling and Experimental Studies for a Thermionic Dispenser Cathode Activation Process". IEEE Transactions on Electron Devices 68/5 (2021): 2455 - 2460.

FİBER OPTİK TABANLI AKUSTİK SENSÖR (FOTAS) PROJESİ

BİLGEM, fiber kablo teknolojisi ile sismik hareketleri ölçüyor. Prototip çalışmalarında sona gelinen Fiber Optik Tabanlı Akustik Sensör (FOTAS) Projesiyle geliştirilen teknolojinin endüstriye kazandırılması için özel sektörle görüşmelere başlandı.

Fiber optik kabloların akustik algılayıcı olarak kullanımı ile kablo güzergahı boyunca akustik titreşime neden olan her türlü insan kaynaklı (yürüme, kazma, delme, patlatma, vb.) ve doğal (kaya düşmesi, heyelan, deprem, vb.) olayları algılamak mümkün.

Fiber Optik Tabanlı Akustik Sensör (FOTAS) sistemi ile ülkemizde gerçekleşen depremler kayıt altına alınmaya başlandı. FOTAS ile Marmara Bölgesi'ndeki depremler kolay bir şekilde algılanırken, uzak bölgelerdeki depremler de şiddetine göre tespit edilebiliyor.



Dr. Okyanus Tulgar - Başuzman Araştırmacı, Ömer Faruk Kip - Uzman, Kadir Durgut - Başuzman Araştırmacı / BİLGEM BTE
Dr. Uğur Saynak - Başuzman Araştırmacı, / Dr. Baki Batı - Başuzman Araştırmacı / BİLGEM TDBY

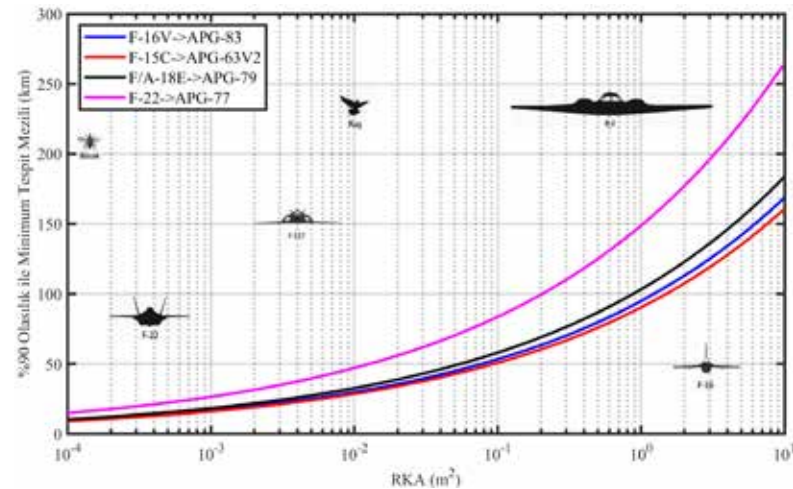
RADAR GÖRÜNMEZLİK Teknolojileri



RADAR KESİT ALANI (RKA)

Radar uygulamalarında hedeflerin büyüklüğü, RKA olarak bilinen saçıcının yansıtma özelliği ile belirlenir [1]. Bu değer hedefin geometrik şekli, frekans, polarizasyon ve bakış açısı ile değişen bir büyüklüktür. Radarda bir cismin uzak mesafelerden tespit edilebilmesi, o cismin RKA değerinin büyüklüğüne bağlıdır. Bu nedenle özellikle askeri uygulamalarda platformun RKA değerinin küçük olması tercih edilir. RKA boş uzayda ve frekans uzayında biçiminde tanımlanmaktadır [2]. Burada, E^i ve H^i uyarın düzlem dalganın elektrik ve manyetik alan ifadeleri, E^s ve H^s hedeften saçılan elektrik ve manyetik alan ifadeleri, R gözlem mesafesi, pt ve pr ise sırasıyla verici ve alıcının polarizasyonlarıdır. RKA değerinin önemini vurgulamak için, Şekil 1'de bazı savaş jetlerinin %90 olasılıkla tespit mesafeleri verilmiştir. Bu şekilde RKA değerleri temsili olup açık kaynaklardan elde edilmiştir.

$$\sigma_{pt,pr} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_{pr}^s \times H_{pr}^s|}{|E_{pt}^i \times H_{pt}^i|} \cong \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E_{pr}^s|^2}{|E_{pt}^i|^2} \quad (2)$$



Şekil 1. Çeşitli savaş jetleri için %90 olasılıklı minimum tespit menzilleri, X-band.

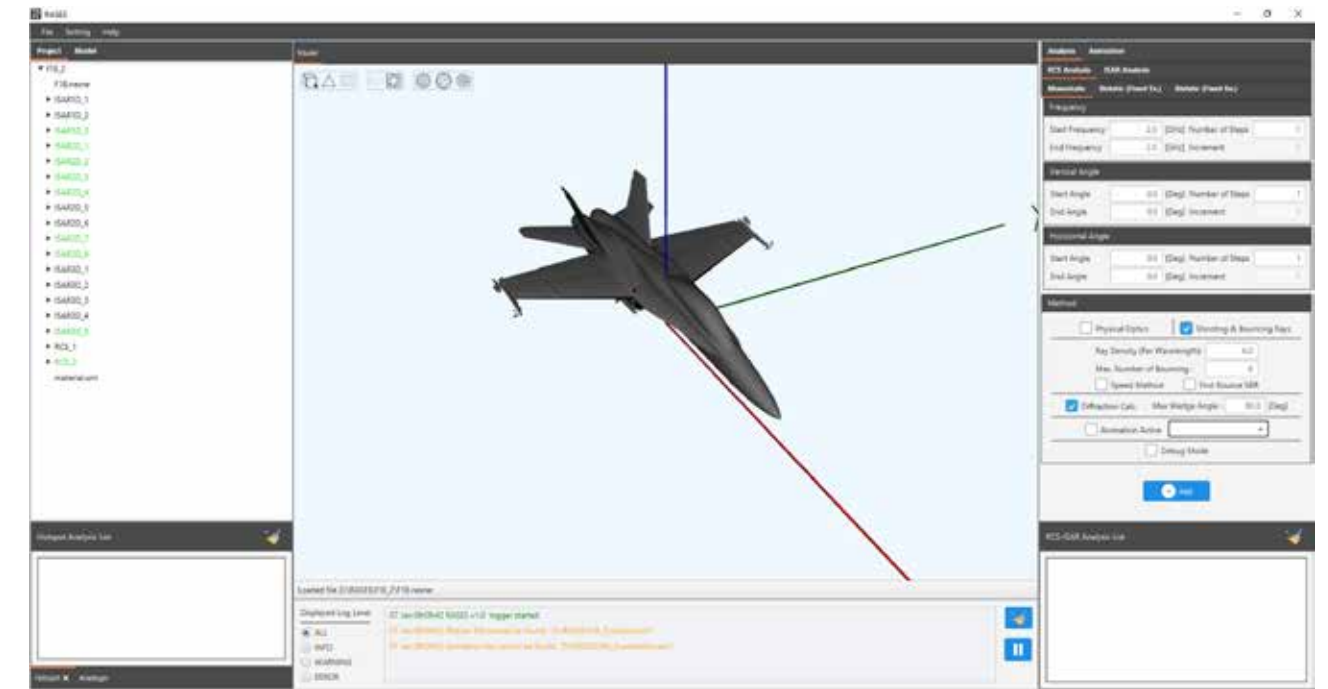
Nitekim F-22 ile F-16 uçaklarının karşılaşmasında bir F-16 F-22'yi tespit edene kadar F-22 silahını ateşlemiş ve sahayı çoktan terk etmiş olabilecektir.

RKA AZALTICI TEDBİRLER

Bir hedefin radara yakalanmaması için RKA değerinin yeterince düşük olması gerekmektedir. RKA azaltıcı tedbirlerin temel yapı taşları; RKA analizleri, hedeflerin Radar Soğurucu Malzemelerle kaplanması ve RKA ölçümleridir.

RKA Analizleri (RASES Yazılımı)

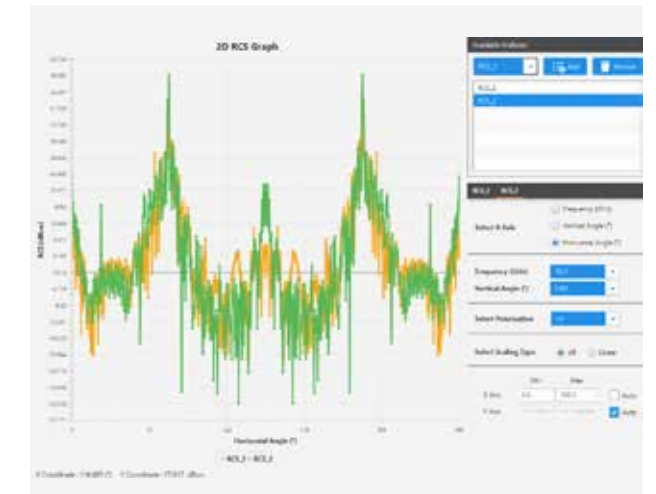
TÜBİTAK BİLGEM bünyesinde geliştirilen yüksek frekans RF (Radio Frequency) iz kestirim yazılımı olan RASES (Radar Cross Section Estimation Software), RKA kestirim ve optimizasyonlarının yanı sıra hedef tanıma/sınıflandırma mak-



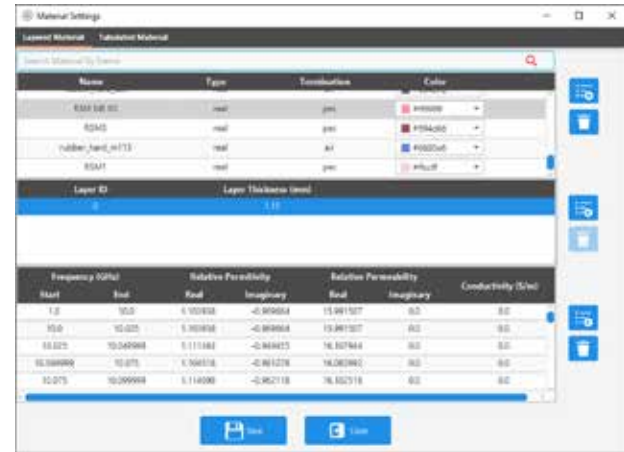
Şekil 2. RASES Yazılımı ana ekranı

diyla da kullanılmaktadır. Yazılım, Fiziksel Optik, Seken Işın Yöntemi ve Fiziksel Kırınım Teorisi gibi yaygın biçimde uygulanan çeşitli yüksek frekans elektromanyetik çözüm yöntemlerini kullanmaktadır. RASES yazılımında platforma ilişkin bilgiler üç boyutlu bir Bilgisayar Destekli Tasarım çizimi ile girilmektedir (bakınız Şekil 2). Eklenen mevcut modelin RKA kestirim sonuçları, saçılma merkezleri, Ters Yapay Açıklıklı Radar (TYAR) görüntüleri, çoklu yansımaların RKA değerine etkisini içeren bilgiler elde edilebilmektedir [3].

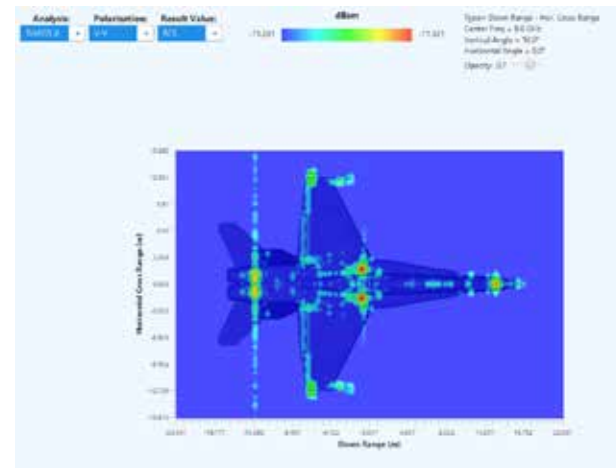
RASES yazılımında elektriksel özellikleri bilinen radar soğurucu malzemeler tanımlanabilmekte ve hedef bu malzemelerle kaplanabilmektedir (bakınız Şekil 3).



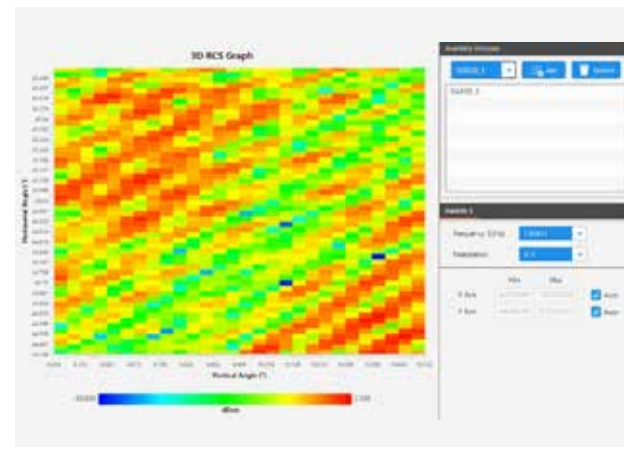
Şekil 4. 2 boyutlu RKA grafiği



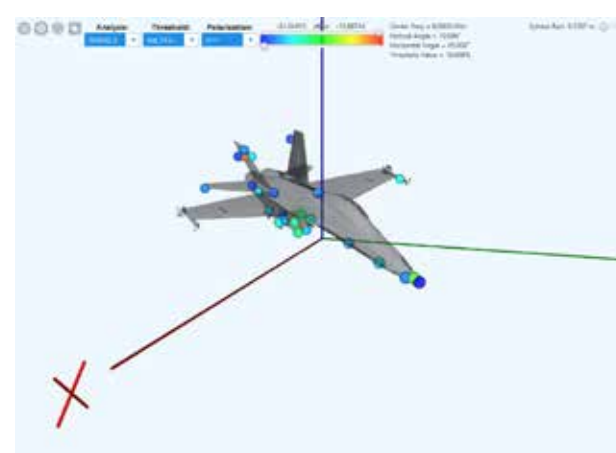
Şekil 3. Malzeme tanımlama menüsü



Şekil 7 İki boyutlu bir TYAR imgesi

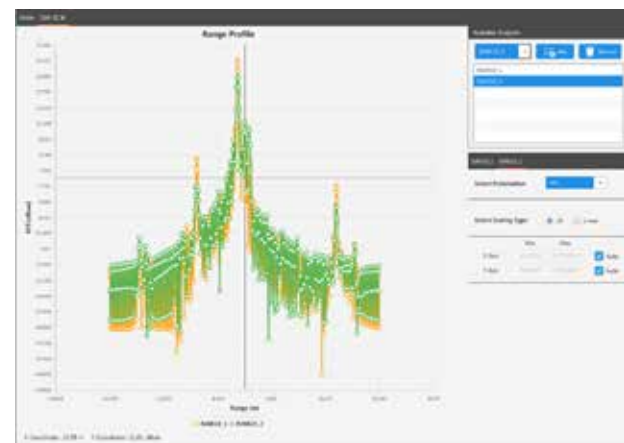


Şekil 5. 3 boyutlu RKA grafiği



Şekil 8 Saçılma merkezi gösterimi

Hedef üzerindeki saçıcı unsurların uzaklığa bağlı yansımaları grafikleri (menzil profilleri) RASES yazılımı kullanılarak Şekil 6'daki gibi çizdirilebilmektedir.



Şekil 6. Menzil profili

RASES yazılımı iki veya üç boyutlu TYAR görüntüleme ve saçılma merkezi hesaplama yeteneğine de sahiptir [4]. Bu analizler RKA azaltım çalışmaları için kritik bilgiler sunmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8'de örnek bir uçak için TYAR imgesi ve saçılma merkezleri verilmiştir.

YAKIN-ALAN RKA ÖLÇÜM LABORATUVARI

RKA analizleri neticesinde dondurulan tasarıma ait prototip hedef üretildikten sonra laboratuvar ortamında RKA ölçümleri alınmaktadır. Bu sayede, üretimsel hassasiyetlerin RKA değerlerine etkisi tespit edilmekte, RKA analizlerinin gerçek testlerle doğrulanması yapılmaktadır.

RKA ölçümleri teorik olarak düzlemsel dalga gereksinimine sahiptir [2]. Uzak-alan şartı olarak bilinen $(R \geq 2D^2)\lambda$ denklemi gereğince, elektriksel uzunluğu yüksek platformlar için kilometrelerce ölçüm mesafelerine ihtiyaç olabilmektedir. Örneğin, fiziki boyutu $D=30$ m olan bir platformun $f=10$ GHz frekansındaki uzak-alan gereksinimi $R \geq 60$ km olmaktadır. Şekil 9'da bir açık saha RKA test tesisi bulunmaktadır. Bu tesiste ölçüm mesafesi 3 km'dir.

Açık sahada RKA ölçümlerinin doğru alınabilmesi için, arazi boyunca zeminin mümkün olduğunca düz olması ve kargaşaya sebebiyet veren yapılardan (bina, ağaç, otluk, vb.) arındırılmış olması gerekmektedir. Çevre koşullarının da (rüzgar, yağmur, kar, nem, vb.) elverişli olması gerekmektedir [2]. Bu sebeple, kışın ölçüm alınabilecek gün sayısı oldukça kısıtlıdır.



Şekil 9. Açık saha RKA test tesisi

TÜBİTAK BİLGEM Anten Test ve Araştırma Merkezi (ATAM) bünyesinde yapılan bilimsel araştırmalar neticesinde, milli imkânlarla özgün ve yenilikçi algoritmalar geliştirilmiştir [5],[6]. Yakın-alanda toplanmış ham veriler kullanılarak uzak-alan RKA değerleri hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, RKA ölçümlerinin yapılabilmesi için uzak-alan şartına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sayede, açık sahada karşılaşılan problemlerin üstesinden gelinmiştir. TÜBİTAK BİLGEM bünyesinde yerli imkânlarla kurulmuş olan Yakın-Alan RKA Ölçüm Laboratuvarı'nın görüntüsü Şekil 10'da verilmiştir. Bu laboratuvarın ölçümleri $30 \times 14 \times 14$ m (Uzunluk x Genişlik x Yükseklik)'dir.



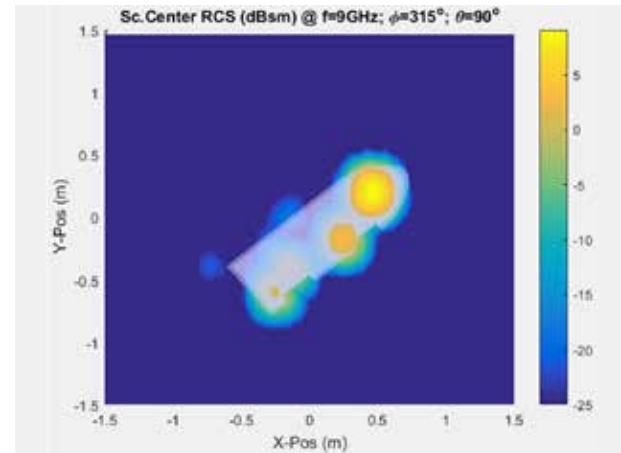
Şekil 10. TÜBİTAK BİLGEM RKA Ölçüm Laboratuvarı

YAR veya TYAR görüntüleme yapabilmek için, hedefi çeşitli azimut ve elevasyon açılarında döndüren bir rotatör ve düşeyde 11 m hareket edebilen bir anten taşıyıcı sistem bulunmaktadır. Ölçüm sisteminin kabiliyetleri Tablo 1'de verilmiştir. Ölçülen hedefin ağırlık ve moment bilgilerine göre, elevasyon açısı ± 90 dereceye ulaşabilmektedir.

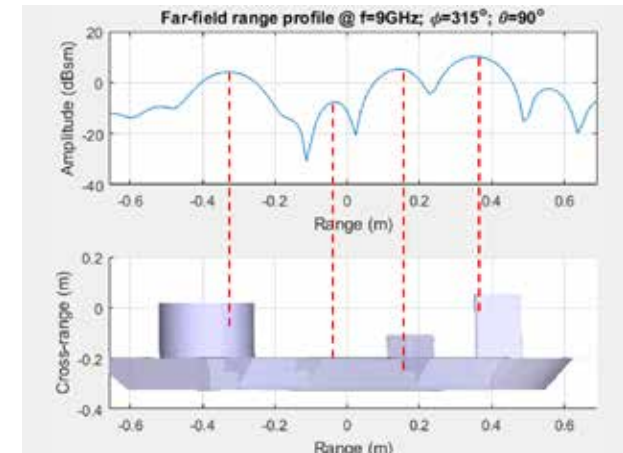
Tablo 1. ATAM RKA ölçüm laboratuvarı yetenekleri

Maksimum platform boyu	10 m
Maksimum platform ağırlığı	2000 kg
Frekans aralığı	0.2 - 40 GHz
Azimut açısı aralığı	0-360 derece
Elevasyon açısı aralığı	±45 derece (@ 2 ton)
Polarizasyon	VV, VH, HV, HH
Ölçüm belirsizliği	±2 dB

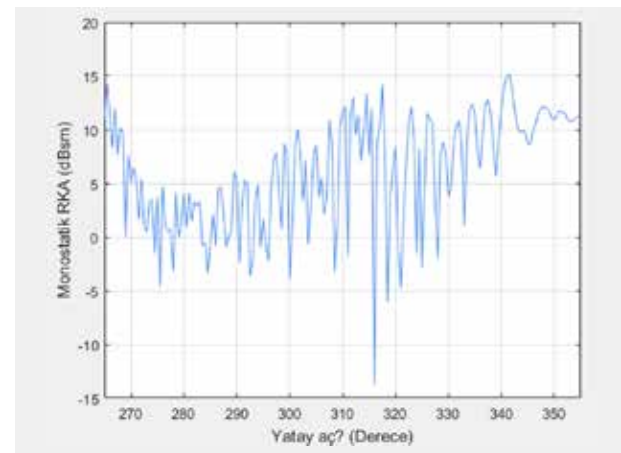
Geliştirilen algoritma TYAR görüntüleme tekniğine dayanmaktadır. Öncelikle hedefin TYAR görüntüsü ve saçılma merkezleri hesaplanmaktadır (Şekil 11). Ardından uzak-alan RKA değerleri ve menzil profilleri saçılma merkezlerinden hesaplanmaktadır (Şekil 12 ve Şekil 13). TYAR görüntüsü sadece uzak-alan RKA ve menzil profillerini hesaplamak için değil, aynı zamanda RKA azaltmalarının yapılabilmesi amacıyla da kullanılabilir. Bu bölgelerin geometrik şekli değiştirilerek veya radar soğurucu malzemelerle kaplanarak hedefin RKA değerleri düşürülmektedir.



Şekil 11. Yakın-alan YAR görüntüsü



Şekil 13. VV polarizasyon, 9 GHz frekansında örnek bir menzil profili.



Şekil 12. Azimut açısına bağlı RKA grafiği (9 GHz, VV polarizasyon).

III. REFERANSLAR

- [1] M. Skolnik, Radar handbook, McGraw-Hill Professional, New York, NY, 2008.
- [2] E. F. Knott, Radar Cross Section Measurements. Scitech yayınları, 2006.
- [3] Deniz BÖLÜKBAŞ, "RASES" Bilgem dergisi, cilt:3, Sayı:07 - Eylül-Aralık 2011.
- [4] Saynak, U., Çolak, A., Bölükbaş, D., Tayyar, İ. H., and Özdemir, C., (2010). "Utilizing ISAR imagery to analyze the diffraction effects from leading and trailing edges of a target", In 2010 10th Mediterranean Microwave Symposium, 25-27 August 2010, Güzelyurt, Cyprus.
- [5] O. Tulgar ve A. A. Ergin, "Improved pencil back-projection method with image segmentation for far-field/near-field SAR imaging and RCS extraction", IEEE Trans. Antennas Propagat. sayı 63, sayfa 2572-2584, 2015.
- [6] O. Tulgar ve A. A. Ergin, "Matrix pencil method for estimating radar cross section of moving targets with near-field measurements", Microwave and Optical Technology Letters., sayı 58, sayfa 471-476, 2016.

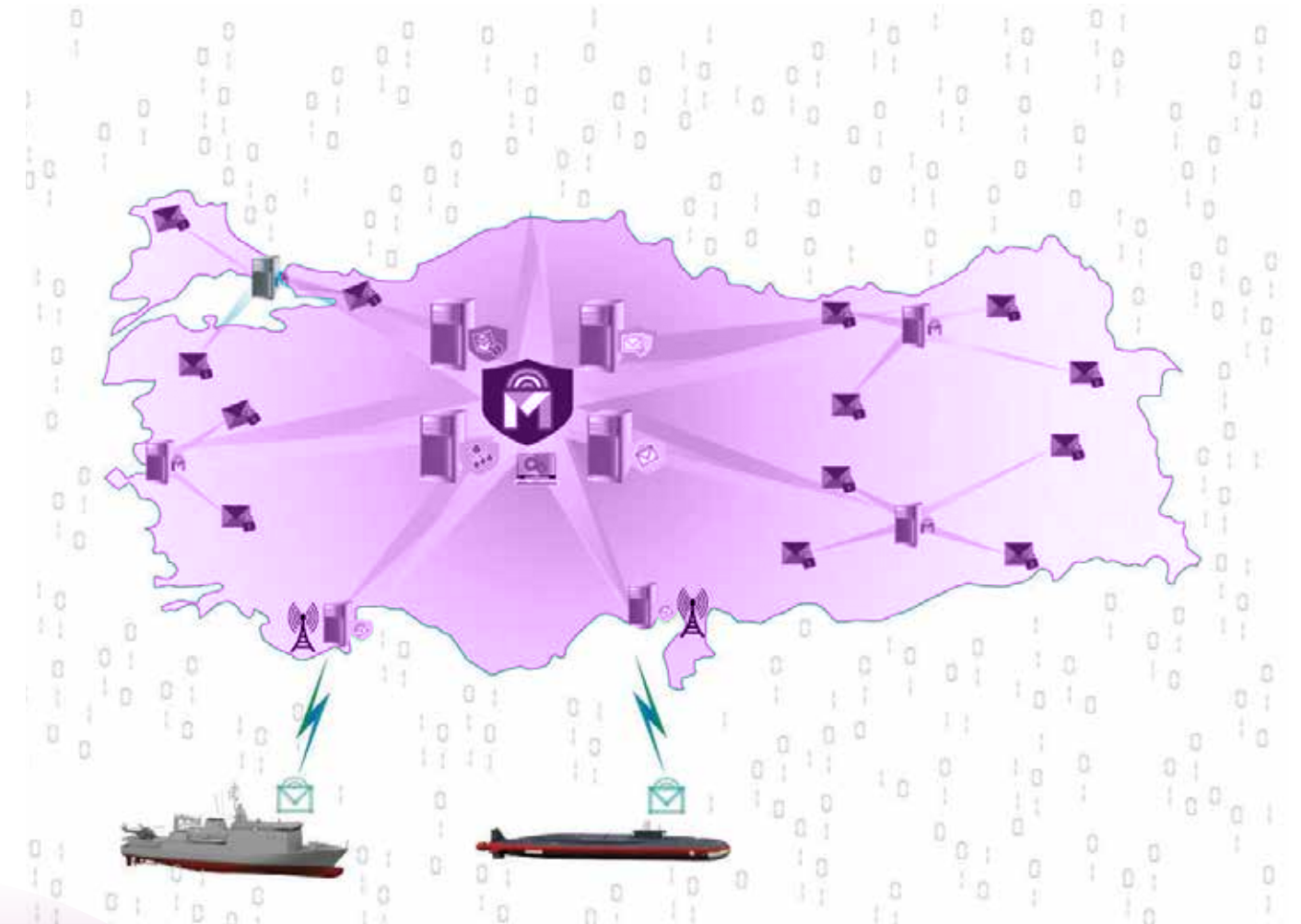
Mesaj ve Evrak Dağıtım Sistemi

MEDAS-3

MEDAS-3 Projesi'nin amacı, MEDAS'ın tesisi ve işletimi sırasında elde edilen tecrübeler kapsamında; teknolojik gelişmelerle ortaya çıkan yeni ihtiyaçları karşılamak ve halihazırda TSK'da kullanılmakta olan MEDAS içindeki yabancı kaynaklı hazır ticari ürünleri, NATO ve uluslararası standartlar dikkate alınarak uluslararası standartlar dikkate alınarak millileştirebilmek amacıyla gerçekleştirilen **Milli Askeri Mesajlaşma Sistemi (MAMSIS)** Projesi ile kazanılan milli yeteneklerin sisteme dâhil edilerek sistemin geliştirilmesi ve millileştirilmesidir.

Projenin çıktıları, uluslararası standartlara uygun ve ulusal ihtiyaçlar gözetilerek milli olarak geliştirilmiş olan mesajlaşma sistemi ve dizin sistemi yazılımları olacaktır.

Proje kapsamında mevcut dış sistemlerle (**taktik ve stratejik sahada**) entegrasyon sağlanacaktır.



FOD TESPİT RADARI

Havalimanları içerisinde çalışanlara, ekipmanlara veya uçaklara zarar verebilme potansiyeline haiz, uygunsuz konumda bulunan, canlı veya cansız herhangi bir nesne Yabancı Madde Kalıntısı (Foreign Object Debris - FOD) olarak tanımlanmaktadır [1].

Pist üzerinde unutulmuş/düşürülen tamir aletleri, zeminden kırılarak kopan parçalar, uçaklardan düşen parçalar, bagaj aparatları, tavşan, tilki, vb. yabani hayvanlar, rüzgârla sürüklenen çakıllar, dal parçaları gibi pek çok nesne uçuş güvenliğini tehlikeye sokabilecek FOD'lardır. Yapılan FOD analiz çalışmalarında uçuş pistleri üzerinde pist başına ayda ortalama 12-15 arasında tehlikeli FOD bulunduğu, milyonlarca dolar maddi kayba neden olduğu raporlanmıştır [2]. Bu nesnelerin sebep olduğu Yabancı Madde Hasarı (YAMAHA) sivil ve askeri havalimanlarında uçuş güvenliğini tehlikeye atan, uçuş rotaları ve plansız motor sökümleri gibi büyük mali kayıplara, hatta ölümlü kazalara sebep olan önemli bir problemdir. Örneğin, 25 Temmuz 2000 yılında Air France'a ait Concorde uçağı Paris Charles de Gaulle Havalimanı'nda kalkış hızına ulaştığı sırada, kendisinden birkaç dakika önce kalkan Continental Hava-yollarına ait başka bir uçak tarafından piste düşürülen 435 mm x 34 mm boyutlarındaki bir metal tekerleğini kesmiş, buradan kopan parçalar yakıt deposunu delmiştir. Oluşan tahribat sonucunda Concorde uçağı kalkıştan çok kısa bir süre sonra yerleşim yerine düşmüş ve 113 kişinin trajik bir şekilde ölümüne sebep olmuştur. Bu kazanın ardından uçuş pistlerinin FOD'den arındırılmış olmasının önemi bir kez daha anlaşılmıştır.

Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu'nun (International Civil Aviation Organization-ICAO) belirlediği standartlarda uçuş pistlerinin en fazla 6 saat arayla (günde en az 4 kez) FOD kontrolünün yapılması gerekmektedir [1]. Apron görevlilerinin pist üzerinde yaya veya araç ile gezerek yaptıkları geleneksel gözle kontrolün kötü hava



koşulları, gece şartları ve sis gibi etmenler dikkate alındığında pek çok büyük dezavantajı bulunmaktadır. Ayrıca FOD araması sırasında pistin uçuşa kapatılması gerekmekte, bu da işlek havalimanları için ek rotalar anlamına gelmektedir. Yeterli sıklık ile kesinlikle yapılamayan temiz pist kontrolü FOD kaynaklı kazaları engellemede etkisiz kalmaktadır. Bu zorluklar ve dezavantajlar göz önünde bulundurulduğunda 7/24 çalışacak ve insan hatalarından arındırılmış otomatik FOD tespit sistemleri önemli ihtiyaçlar haline gelmiştir. Oluşan güvenlik açıklarını ortadan kaldırmak üzere otomatik pist gözetleme ve FOD tespit sistemleri geliştirilmektedir [3].

FOD Tespit Sistemleri

Yabancı madde tespiti için sabit veya hareketli platformlar üzerinde elektro-optik, lazer, radar vb. teknolojileri kullanan alternatif yaklaşımlar geliştirilmiştir. FOD tespit sistemleri ile havalimanı içerisindeki uçuş pisti, taksi yolu, park alanı gibi çeşitli bölgelerin sürekli taranması, hasara sebep olabilecek yabancı madde kalıntılarının otomatik olarak tespit edilmesi, yerinin ve niteliğinin belirlenmesi, doğrulanması, tespit durumunda operasyon merkezinin sesli ve görsel olarak uyarılması ve bilgilerin kaydedilerek sonradan analiz edilebilmesi amaçlanmaktadır. Otomatik FOD tespit sistemlerinin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir:

- Pist kapama sürelerini kısaltmak ve uçak rotalarını azaltmak,
- FOD'lerin yol açtığı ölümlü kazaları ve hasarları engellemek,
- FOD hakkında daha fazla bilgi edinmek, veri kaydı ile istatistiksel analiz yapabilmek,
- Gece ve kötü hava koşulları dâhil her şartta verimli bir FOD temizliği yapabilmek,
- Havaalanı kalkış ve iniş güvenliğini artırmak.

Birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunan teknolojilerden, radar ve optik sensörlerin hibrit kullanımı etkin ve yaygın çözüm olarak ön plana çıkmaktadır. Pist boyunca belirli bir hızda hareket eden mobil bir araç üzerine yerleştirilen bir radar ile veya pist kenar ışıklarına yerleştirilen kısa menzilli (-30m) çok sayıda radar ile tüm pistin kapsamasının sağlanabilmektedir. Ayrıca, pist merkez hatından belirli uzaklıklara pist boyunca kurulan 3-4 adet sabit kule üzerine yerleştirilmiş uzun menzilli (-1000m) radarlar ile de tüm pist taranabilmektedir. Ulaşım ve ba-



Şekil 1: Air France Concorde Kazası ve Concordu Düşüren FOD

kim kolaylığı açısından pistin az sayıda sensör ile kapsamı önemlidir. Ayrıca kötü hava şartlarında sistemin kar ile kaplanmaması ve pist temizliği sırasında zarar görmemesi istenmektedir. Bu yüzden pistten belirli bir uzaklığa az sayıda sabit kule üzerine yerleştirilmiş geniş görüş açılı mm-dalga radarlar ile pist taraması yapılması çözümü diğer yaklaşımlara göre daha avantajlıdır.

FODRAD

FODRAD - FOD Tespit Radar Sistemi

FODRAD, Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) ile TÜBİTAK-BİLGEM ortaklığında otomatik FOD tespiti için geliştirilen bir mm-dalga Radar sistemidir. Ülkemizde geliştirilen ilk ve tek FOD tespit radarı olan FODRAD 2018 yılında Antalya Havalimanı doğu pistine kurulmuştur. FODRAD sistemi FAA (Federal Aviation Administration) AC150/5220-24 numaralı tavsiye kriterlerini [4] tamamen sağlayacak biçimde tasarlanmış olup 7/24 sürekli otomatik gözetleme yapmaktadır. Pist üzerindeki FOD'leri tespit ederek operatöre uyarı veren, gerçek zamanlı gösterimi yapan, inceleme/araştırma/raporlama kullanıcı arayüzleri sunan, istatistiksel bilgi kaydeden ve rapor üreten bir FOD Tespit Radar Sistemidir.

FOD tespit sistemleri ile havalimanı içerisindeki uçuş pisti, taksi yolu, park alanı gibi çeşitli bölgelerin sürekli taranması, hasara sebep olabilecek yabancı madde kalıntılarının otomatik olarak tespit edilmesi, yerinin ve niteliğinin belirlenmesi, doğrulanması, tespit durumunda operasyon merkezinin sesli ve görsel olarak uyarılması ve bilgilerin kaydedilerek sonradan analiz edilebilmesi amaçlanmaktadır.

FODRAD Sistemi Temel Özellikleri

- 7/24, gece/gündüz otomatik FOD taraması ve tespiti
- Pist üzerindeki kırık ve çatlak bölgelerin otomatik tespiti
- Tespit durumunda sesli/görsel uyarı oluşturma
- 5 yıl süreyle veri kaydı
- Tek bir merkezden kumanda ve izleme imkânı
- Birden çok radara ait verilerin füzyonu
- Pist çizimi/haritası üzerinde FOD konumu ve görüntüsünün gösterimi
- Havalimanı sistemleri ile herhangi bir girişim oluşturma, personel ve ekipmana zarar vermeme
- Kullanıcı arayüzlerinin ağ üzerinden istenilen sayıda çoğullanabilmesi
- Gece görüş için IR aydınlatma

Ülkemizde geliştirilen ilk ve tek FOD tespit radarı olan FODRAD, 2018 yılında Antalya Havalimanı doğu pistine kurulmuştur.



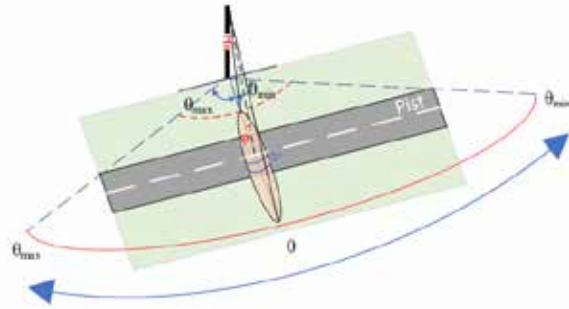
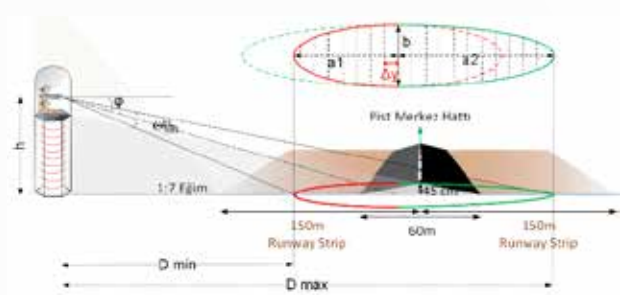
Şekil 2: FODRAD Antalya Havalimanı Radar Kulesi

FODRAD Çalışma Konsepti

FODRAD, 4000 m uzunluğundaki standart bir uçuş pisti boyunca dizilmiş kuleler (algılayıcı platformu) üzerinde 4 adet mm-dalga FMCW radar ve 4 adet optik sensörden (kamera) oluşan bir sensör ağı sistemidir. Ayrıca gece görüş yapılabilmesi için odaklanabilir uzun menzillir (kızıl ötesi) aydınlatıcı da sisteme dâhil edilmiştir.

Havalimanı mânia kriterleri gereği, pist merkez hattından 150 m uzaklığa kadar (runway strip) pist kenarına herhangi bir kırılmaz yapı konulmasına izin verilmez. Bu uzak-

lıktan sonra ise her 1m yükseklik için yatayda 7m daha uzaklaşmak gerekir [5]. Kule yüksekliğini etkileyen bir diğer faktör, pist üzerinde su durmasını engellemek amacıyla, pistin merkez hattının kenarlarına göre daha yüksek olmasıdır (tipik olarak %1.5'lik eğimli balıksırtı yapısı). Radar kulelerinin yükseklikleri, pist mânia kriterlerini delmeyecek şekilde yeterince uzakta ve alçak, aynı zamanda balıksırtı pistin uzak tarafını görebilecek kadar da yüksek ayarlanmalıdır. FODRAD kule yükseklikleri 3 ile 6 m arasında olmaktadır. Aşağıdaki şekilde örnek konumlandırma ve radar huzme ayak izi gösterilmektedir.



Şekil 3: Pist kenarı radar kulesi örnek konumlandırma ve küçük eğim açısı (ϕ) ile yere bakan radar yarı güç izdüşümü (footprint) gösterimi

Uygulamada pist 4 parçaya ayrılmakta ve her bir radar kendi sorumluluğundaki pist parçasını taramaktadır. Radar çıktıları merkezde birleştirilerek kullanıcıya tek bir arayüz üzerinde sunulmaktadır. Çelik kule üzerindeki radar yanca doğrultuda $6^\circ/\text{sn}$ sabit hızla sağa-sola silecek hareketi şeklinde 7/24 tarama yapmaktadır.

Hedef tespit işlemi temiz pist durumunda toplanan sinyallerin istatistiksel olarak modellenmesi ve bir FOD oluşması durumunda oluşacak farkın sezilmesine dayanır. Yanlış alarm oranını düşürmek amacıyla, mm-dalga radar tarafından aynı konumda art arda gelen en az 4 taramada da hedef tespit etmesi durumunda FOD uyarı sinyali oluşturulur. Radar tarafından tespit edilen hedefin koordinatları doğrulama amacıyla optik sensöre aktarılmaktadır. Kamera sistemi, tespit edilen hedefe doğru otomatik yönelme, yaklaşma (zoom) ve odaklanma (focus) işlemlerini yaparak görüntüyü operasyon merkezindeki kullanıcı arayüzüne aktarır. Bulunan FOD'nin kamera görüntüsü ve koordinatları harita üzerinde görselleştirilmektedir. Uyarı sinyali, apron görevlisinin piste gidip FOD'yi yerinden almasına kadar devam etmektedir.

**FODRAD sistemi
FAA (Federal Aviation
Administration)
AC150/5220-24 numaralı
tavsiye kriterlerini tamamen
sağlayacak biçimde
tasarlanmış olup 7/24
sürekli otomatik gözetleme
yapmaktadır.**

mm-Dalga FMCW Radar

FOD-tespit sisteminde kullanılan ana sensör 95 GHz frekansında çalışan eş evreli doğrusal FMCW (Frekans Modüleri Sürekli Dalga) radarıdır.

Doğrusal FMCW radarda kullanılan cıvıltı (chirp) sinyalinin frekansı $f_{RF}-\Delta f/2$ ile $f_{RF}+\Delta f/2$ arasında doğrusal olarak değişmektedir. Burada f_{RF} taşıyıcı frekans, Δf ise taranan bant genişliğidir. Radardan gönderilen doğrusal FMCW sinyali $s_T(t)$, R uzaklıkta ve v_r radyal hızıyla hareket eden hedeften yansıtılarak $\tau=2(R+v_r t)/c$ süre sonra radara dönen sinyal $s_R(t)$ ile karıştırılması (mixing) ile yürü (beat) sinyali $s_V(t)$ elde edilir:

$$s_V(t) = \frac{KA^2}{2} \cos \left(2\pi \left(\left(f_{RF} - \frac{\Delta f}{2} \right) \tau - \frac{\Delta f}{2T_m} \tau^2 + \frac{\Delta f}{T_m} \tau t \right) \right)$$

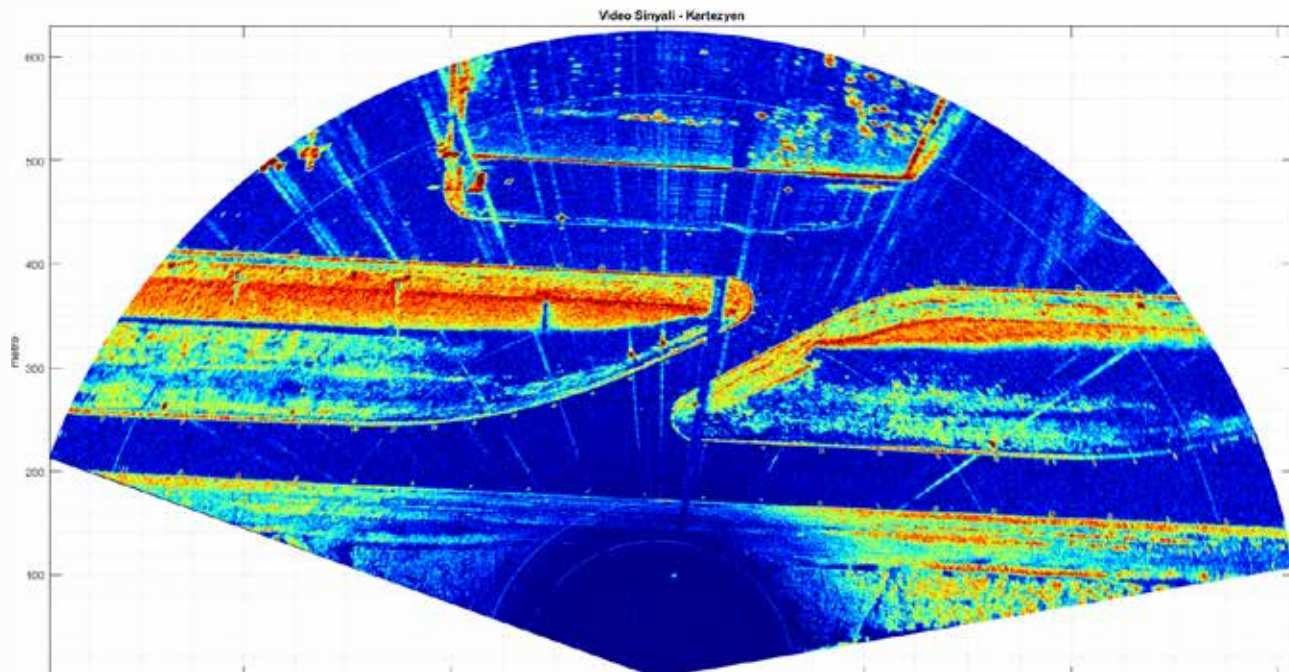
Burada A genlik, T_m bir süpürme (sweep) için geçen süre (kiplleme periyodu), c ise ışık hızıdır. Taramanın testere dişi şeklinde sadece yukarı doğru olduğu varsayılmıştır. Sinyalin genlik değişimi K, anten kazancına (G_A), hedefin menziline (R), sinyalin dalga boyuna (λ), hedefin radar kesit alanına (RKA, σ) ve sistem kayıplarına (L_S) bağlıdır [6]. Vuru sinyali içerisinde $f_v=(\Delta f \tau) T_m$ vuru frekansı olup hedefin menzill ve radyal hız bilgisini barındırmaktadır. FOD hedefleri pist üzerinde duran hareketsiz cisimler olduğundan menzill bilgisi $R=(f_v/c T_m) \lambda / 2 \Delta f$ bağıntısı ile elde edilir. Vuru sinyalinden Fourier dönüşümü yardımıyla vuru frekansı kestirilerek menzill profili oluşturulur. Menzill profilinde tespit edilmeye çalışılan hedeften yansıyan sinyaller dışında, ortamdaki diğer nesnelere



Şekil 4: FODRAD mm-dalga Radarı

yansıyan gelen sinyal bileşenleri de bulunmaktadır. Huzmenin aydınlatıldığı alandan hedef dışındaki tüm yansımalar toplamı kargaşayı oluşturur. Huzme görüş alanı içerisinde pist, yeşillik alanlar, taksi yolları, pist aydınlatma ışıkları ve diğer yapılar (direkler, işaret levhaları, apron binaları, vb.) bulunmaktadır. Aşağıdaki şekilde Antalya Havalimanı'ndaki FODRAD sisteminin bir taramasına ait

video sinyali (genlik) ve taranan pist parçasının uydu görüntüsü gösterilmektedir. Pist bölgesi koyu lacivert renk, yüksek RKA'lı yansıtıcıların (park etmiş uçaklar, binalar, pist kenar ışıkları, vb.) bulunduğu bölgeler daha açık sarı, turkuaz ve kırmızı renklerde görünmektedir. Yüksek çözünürlüklü mm-dalga radar ile pistin görüntüsü net şekilde oluşturulmaktadır.



Şekil 5: Antalya Havalimanı pist görüntüsü ve aynı bölgede kaydedilen 1 turluk FODRAD mm-dalga radar video sinyali.

FOD tespit radarları ihtiyaca cevap veren yenilikler olup yaygınlaşması ihtiyaçtan öte bir zorunluluk haline gelmiştir.

Pist üzerinden, kenar ışıklarından, pist kenarındaki bitkilerden, yön levhalarından vb. gelen yansımalar yer kargaşası olarak modellenmekte ve hesaba katılmaktadır. Ayrıca bir gürültü bileşeni de (t) sinyale eklenmektedir. Bu durumda elde edilen menzil profilinde yer kargaşası ve hedefe ait bileşenler bulunacaktır. Yer kargaşasından kaynaklanan sinyalin doğru modellenmesi yabancı madde hedef tespitinde önemli rol oynamaktadır. 95 GHz merkez frekansında çalışan ve yarıda 0.25 derece huzme genişliğine sahip radarda yüksek menzil ve çapraz menzil çözünürlüğü sağlanmakta, böylece yüksek konum doğruluğu ile FOD'nin yeri kullanıcıya bildirilmektedir.



Hızlı bir şekilde gelişen ve yüksek kapasitelere ulaşan havayolu taşımacılığı büyüyen riskleri de beraberinde getirmekte, havalimanı operasyonlarının güvenli ve verimli bir şekilde yerine getirilebilmesi için otomatik yardımcı sensör sistemlerine ihtiyaç önemli ölçüde artmaktadır. FOD tespit radarları bu ihtiyaca cevap veren yenilikler olup yaygınlaşması ihtiyaçtan öte bir zorunluluk haline gelmiştir. Güvenli uçuşların anahtarı temiz pistler, temiz pistlerin anahtarı ise yüksek verimli otomatik FOD tespit sistemleridir.

Kaynaklar

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO) Annex 14 Recommendation.
- [2] Foreign Object Debris and Damage Prevention, Boeing Aero, [http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_01/textonly/s01txt.html]
- [3] Patterson J., "Foreign Object Debris (FOD) detection research", International Airport Review, Issue 2, 2008.
- [4] Federal Aviation Administration (FAA) AC150/5220-24 Advisory Circular [https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_150_5220-24.pdf]
- [5] Ulaştırma Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü Havaalanı Tasarımı ve İşletme El Kitabı, 2010.
- [6] A. Stove, "Linear FMCW radar techniques", IEEE Proceeding F-Radar and Signal Processing, vol. 139, no. 5, pp. 343-350, 1992.

HEDEF TANIMADA

Derin öğrenme

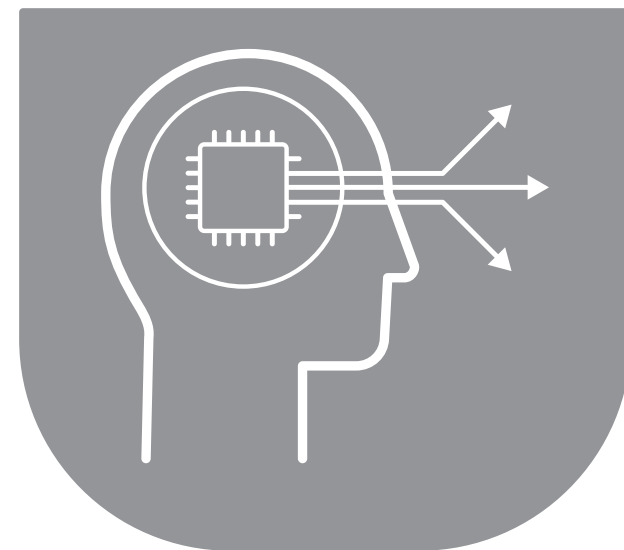


Teknolojik ilerlemelerle birlikte, radar ile hedef tanıma da geleneksel yöntemlerin yerini derin öğrenme tabanlı algoritmalar almaktadır. Konvolüsyonel ağların yaygın biçimde kullanıldığı derin öğrenme algoritmaları, hedef imzaları için özellik çıkartımı ile sınıflandırma işlemini birlikte uygulayarak önceki yöntemlere göre hızlı ve etkin bir sınıflandırma imkânı sunmaktadır.

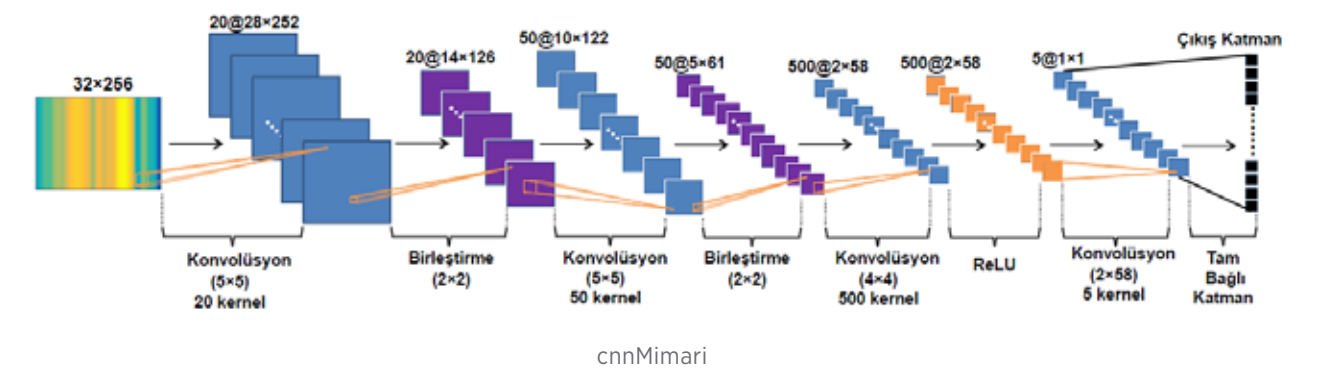
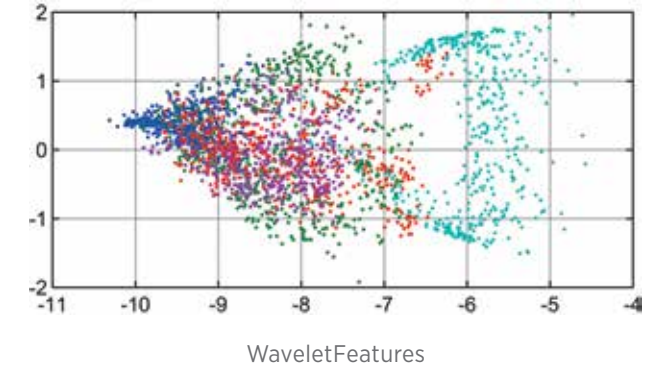
Radar sistemleri, etkin biçimde kullanılmaya başlandığı İkinci Dünya Savaşı'ndan bu yana algoritma ve fonksiyon anlamında önemli bir gelişim göstermiştir. Aynı süre zarfında, hedeflerin tespit ve takibi ile birlikte teşhis edilmesine yönelik olarak basitten karmaşığa çok sayıda algoritma ve yöntem geliştirilmiştir. Söz konusu geliştirmeler sayesinde, icadının ilk evrelerinde yalnızca basit tespitler icra edebilen radar sistemleri günümüzde insan beyninin gerçekleştirdiği bazı fonksiyonlara sahip olarak öğrenmeye bağlı tespit ve teşhis kabiliyetlerine haiz olabilmektedir.

Yirmi birinci yüzyılın ilk evresini radar sistemlerinin hedef tanıma anlamında kazanmış olduğu yetenekler açısından bir milat olarak saymak yanlış olmayacaktır. Bu döneme kadar, kara, hava veya deniz hedeflerinin tanınabilmesi veya teşhis edilebilmesi doğrultusunda basit anlamda Bayes kuralı ve k-en yakın komşuluk (k-NN) veya biraz daha karmaşık olarak yapay sinir ağları (ANN) gibi sınıflandırıcı yapıları yaygın bir biçimde kullanılmıştır. Geleneksel yöntemler olarak adlandırılan bu sınıflandırıcı yapılarının hedeflerin tanınması konusunda başarılı olması,

girdi verilerine ve bu veriler kullanılarak oluşturulan ayırt edici özelliklere sıkı sıkıya bağlıdır. Dolayısı ile radar mühendisleri ve araştırmacılar, radar sistemlerinin etkin bir tanıma fonksiyonuna sahip olabilmesi için bir yandan en uygun sınıflandırıcı yapısını tasarlamak, bir yandan da girdi verisinden en ayırt edici özellikleri belirlemek adına yoğun çabalar sarf etmiştir. Bahse konu sınıflandırıcı ve özellik mühendisliği, sistemlerin konumu ve tipi gibi farklı parametrelere duyarlılık göstermektedir. Bu sebeple geliştirilen sınıflandırıcı ve özellik çıkarma algoritmaları genelde sistemler özelinde tasarlanabilmektedir.



Radar sistemlerinde hedef tanıma kısmen başarı sunan geleneksel yöntemler yirmi birinci yüzyılın başlangıcından itibaren yerini artan bir hızla gelişme gösteren derin öğrenme (Deep Learning) tabanlı yöntemlere bırakmaya başlamıştır. İnsan beynine ilişkin öğrenme fonksiyonlarından esinlenerek geliştirilen derin öğrenme tabanlı metodolojiler, kendi kendine öğrenen yani otonom bir teknoloji olarak değerlendirilmekte ve geleneksel yöntemler dikkate alınarak belirlenecek özellik ve sınıflandırıcı yapılarından daha üstün bir modelin radar sistemi tarafından otomatik olarak öğrenilmesine imkân tanımaktadır.



Derin öğrenme tabanlı hedef tanıma uygulamalarında temel olarak konvolüsyonel sinir ağlarının (CNN) yaygın bir biçimde kullanıldığı göze çarpmaktadır. Bununla birlikte, yakın zamanda CNN ağları temel alınarak;

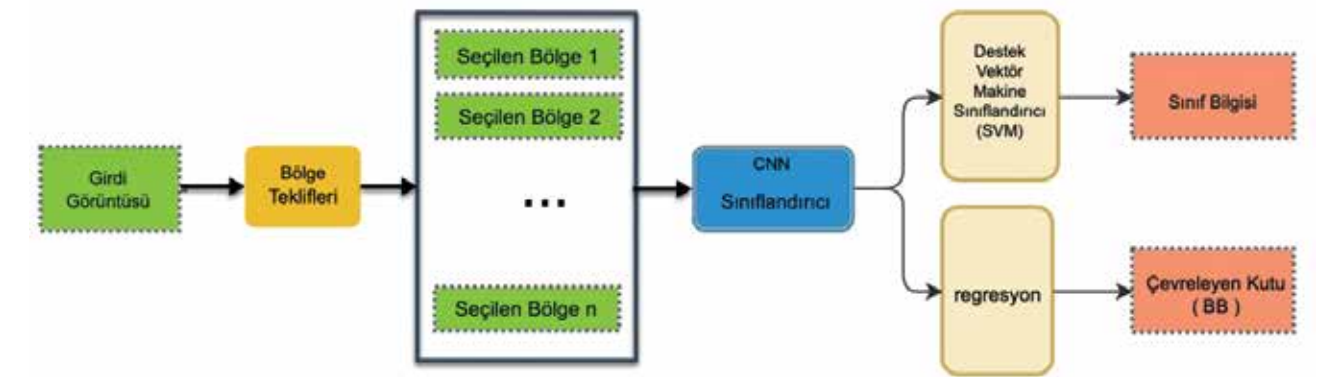
- R-CNN (bölgesel konvolüsyonel sinir ağları),
- Fast R-CNN (hızlı bölgesel konvolüsyonel sinir ağları),
- Faster R-CNN (daha hızlı bölgesel konvolüsyonel sinir ağları),
- Mask R-CNN (maskeli bölgesel konvolüsyonel sinir ağları) ve
- YOLO (tek taramada nesne tespiti)

R-CNN Metodu

CNN ağ yapısını kullanarak nesne tespiti yapan yöntemlerin başında gelen bölgesel konvolüsyonel sinir ağı, R-CNN, nesne tespitinin ilk aşamasında bir seçici arama

gibi nesne tespit yöntemlerinin hedef tanıma ve kimliklendirme anlamında kullanıldığı ve sistemlere doğruluk ve hız anlamında iyileştirme sağladığı görülmektedir. Farklı yaklaşımlar ile hedef tanımanın amaçlandığı bu ağlarda özellikle insan görme sisteminin tanıma fonksiyonuna benzer biçimde konvolüsyon filtreleri kullanılarak çok sayıda özellik haritaları oluşturulmaktadır. Bu özellik haritaları, hedeflere ilişkin farklı ölçeklerde ve kaba veya detay anlamında farklı biçimlerde ayırt edici özelliklerin belirlenmesini sağlamaktadır.

algoritması kullanarak, görüntü üzerinde hedef olması muhtemel 2000 adet bölge belirlemektedir.



RCNN



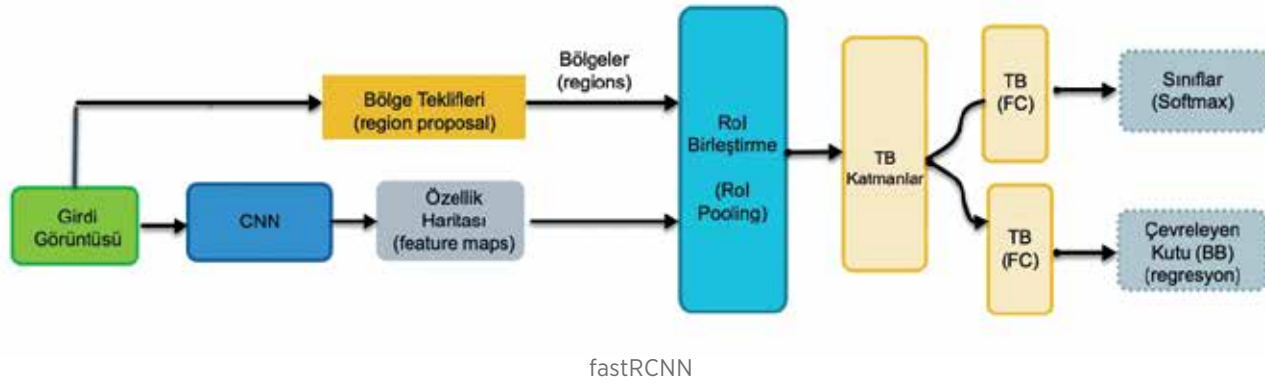
Potansiyel hedef bölgelerinin belirlenmesinin ardından, her bir bölgeye ilişkin girdi verisi CNN ağının girişine uygulanarak bölgelere ait öznelik haritaları oluşturulmaktadır. Son aşamada ise, oluşturulan öznelikler destek vektör makineleri (SVM) ile sınıflandırma işlemine tabi tutulmaktadır. Bununla birlikte, hedef sınırlarını belirle-

yecek olan çevreleyen kutular, bir regresyon süreci işletilerek oluşturulmaktadır. Ortalama bir başarımla nesne tespitine imkân veren R-CNN metodunun temel problemi, CNN ağının 2000 potansiyel hedef bölgesinin her biri için işletilmesidir. Bu durum, nesne tespit ve tanıma işleminin zaman maliyetli olmasına sebep olmaktadır.

Fast R-CNN Metodu

R-CNN yönteminin zaman maliyetli oluşu Fast R-CNN metodunun geliştirilmesine yol açmıştır. Uygulanan mimari değişiklikler sayesinde, R-CNN yönteminden dokuz kat daha yüksek hız ve bununla birlikte %62'den %66'ya ulaşan bir ortalama doğruluk (mAP) oranına ulaşılmıştır.

Fast R-CNN yönteminin önceki yöntemle göre hızlı olması, CNN ağının 2000 değil tek bir defa işletilmesi sayesinde mümkün olmuştur. Yöntemde, girdi verisi CNN ağına girilerek uygulanarak veri ile aynı boyuttaki öznelik haritası bir defa hesaplanmakta, oluşturulan potansiyel hedef bölgelerine ilişkin öznelik harita bölgesi tam bağılı bir katman aracılığı ile sınıflandırmaya tabi tutulmaktadır.

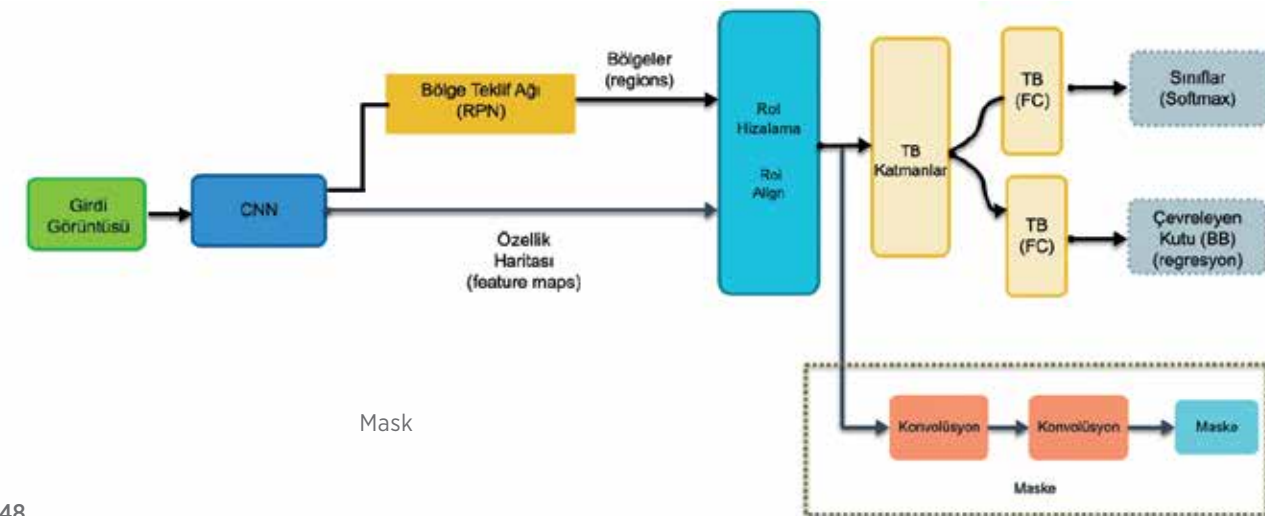


Faster R-CNN Metodu

Fast R-CNN metodundan farklı olarak, potansiyel hedef bölgelerinin yavaş çalışan seçici arama metodu yerine daha yüksek hız ve doğrulukla bulunmasını sağlayan CNN tabanlı Bölgesel Teklif Ağı (Regional Proposal Network, RPN) kullanan Faster R-CNN metodu, R-CNN ve Fast R-CNN yöntemlerine göre daha hızlı nesne tespit imkânı sağlamaktadır.

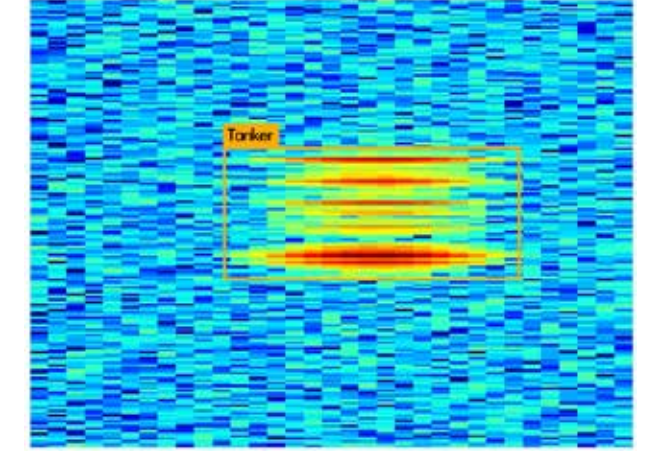
Mask R-CNN Metodu

R-CNN yöntemleri içerisinde en gelişmiş olan versiyonlardan bir tanesi Mask R-CNN yöntemidir. Faster R-CNN yöntemine ilişkin kabiliyetleri barındıran bu yöntem, ilave olarak hedef sınırlarını temsil eden bir maskenin de bulunabilmesine imkân sağlamaktadır. Öznelik haritalarının elde edilmesinden sonra, nesnenin sınıflandırılması, çevreleyen kutunun belirlenmesi ve hassas hedef çevresinin (maske) oluşturulması aynı anda uygulanarak sofistike hedef tanıma işlemi tamamlanmaktadır.

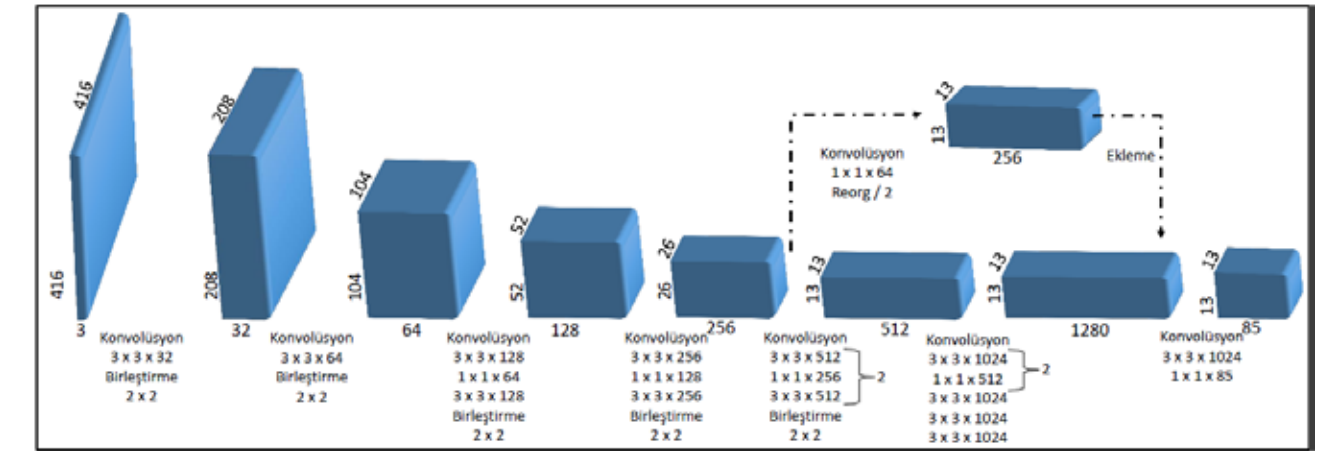


YOLO Metodu

YOLO "You Only Look Once" nesne tanıma yöntemi R-CNN tabanlı metotlardan farklı olarak görüntü üzerinde tek bir tarama yaparak nesne tanıma sürecini tamamlamaktadır. Bu yöntemde, girdi görüntüsü belirli boyutta ızgara alanlara ayrılmakta, her bir ızgara alanında birden fazla hedef tanımlanmasına imkân verecek biçimde hedef etiketleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan etiketler dikkate alınarak girdi görüntüsü tek bir konvolüsyonel ağdan geçirilerek eğitim veya test işlemi gerçekleştirilmektedir. YOLO yöntemi, R-CNN tabanlı yöntemlerdeki gibi potansiyel hedef bölgesi araması yapmadığı ve girdi verisini tek seferde değerlendirdiği için söz konusu yöntemlere göre çok yüksek hızlı sınıflandırma imkânı oluşturmaktadır. Bu durum, araştırmacıların YOLO tabanlı yöntemler üzerine yoğunlaşmasına sebep olmuş ve bu metodun çok sayıda versiyonunun (YOLO-v2, YOLO-v3, YOLO-v4, YOLO-v4 Scaled, YOLO-v5) geliştirilmesine vesile olmuştur.



Yolo Sonuc



Yolo Mimari

Referanslar

1. Y. Alagöz, O. Karabayır, A. F. Mustafaçoğlu, "Target Classification Using YOLOv2 in Land-Based Marine Surveillance Radar", 28th Signal Processing and Communications Applications Conference, pp. 1-4, 2020.
2. O. Karabayır, S. M. Yücedağ, O. M. Yücedağ, A. F. Coşkun, H. A. Serim, "Micro-Doppler-based classification study on the detections of aerial targets and wind turbines", 17th International Radar Symposium (IRS), pp. 1-4, 2016.
3. O. Karabayır, M. Z. Kartal, O. M. Yücedağ, "Convolutional neural networks-based aerial target classification using micro-Doppler profiles", 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1-4, 2017.
4. R. Girshick, "Fast R-CNN", IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1440-1448, 2015.
5. K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, R. Girshick, "Mask R-CNN", IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 2961-2969, 2017.
6. Y. Alagöz, "Deniz Hedeflerinin Geleneksel ve Derin Öğrenme Tabanlı Yöntemler İle Sınıflandırılması", Marmara Üniversitesi, 2020.

İYİ TESPİT TAKİP

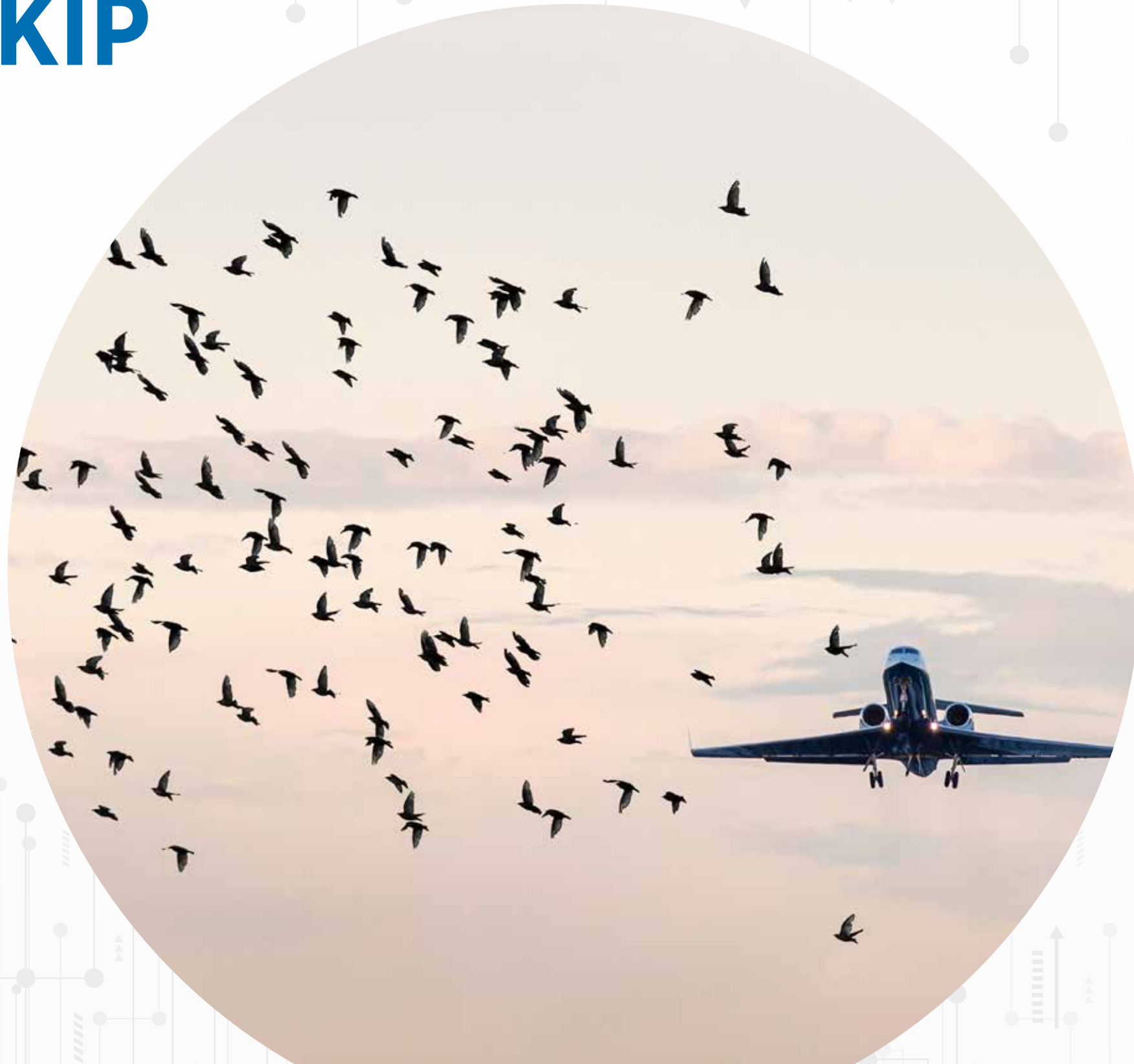
Radarda kargaşa



Bir radar sisteminin hedef tespitini kara ya da deniz yüzeyi gibi kargaşa kaynaklarından geri dönen sinyaller zorlaştırmaktadır. Bu kargaşa sinyallerinin bastırılması ya da çıkarımı operasyonel anlamda önem arz etmektedir.

Kargaşa kaynakları genel olarak noktasal, yüzeysel ve hacimsel olarak sınıflandırılabilir. Ortamdaki kuş ya da böcekten olan yansımalar noktasaldır ve boyutlarından dolayı oluşturdukları kargaşa düşük seviyededir. Eğer kısa menzilde yer alıyorsa radar tespit edebilir. Yüzeysel kargaşa ise deniz ya da kara kargaşasıdır. Genelde durağan kabul edilir, ancak kara üzerinde hareket eden nesnelere ya da denizdeki dalgaların hareketi durağan olmayan kargaşaya neden olabilir. Hacimsel kargaşa ise genelde yağmur, kar gibi hava olaylarının neden olduğu kargaşadır.

Genellikle MTI (Moving Target Indicator) olarak bilinen kargaşa filtreleme, durağan kargaşanın neden olduğu sinyalin sabit bileşenlerini bastırarak kullanılmak üzere geliştirilen bir filtreleme tekniğidir. Radara ve işlevine bağlı olarak değişik tip MTI filtreler bulunmaktadır: Airborne MTI (AMTI) ya da Ground MTI (GMTI) gibi. Doppler işleme ise bir darbe dizininden geri dönen radar sinyallerinin spektrumunu elde eder, böylece hedef ve kargaşa sinyallerini Doppler kaymalarına bakarak ayırt eder.



Kuş Sürüsü Etkisi

Her yıl milyonlarca kuş beslenme alanlarından kışı geçirecekleri bölgelere göç etmektedir. Kuşlar, sadece göç zamanı değil, gün içinde de beslenme ve dinlenme alanları arasında hareket etmektedir. Kuşların bu sürekli hareketlilikleri, hava trafiğini ve rüzgâr türbinlerinin verimli çalışmasını olumsuz etkileyebileceğinden kuşların kontrollü bir biçimde takip edilebilmesi önem kazanmaktadır.

Kuş sürüleri, hızlarına ve sürü büyüklüğüne bağlı olarak hedef benzeri yansımalar oluşturmaları sebebiyle sahte tespit ve izlerin oluşmasına neden olabilmektedir. Tekil bir kuş, uzun menzilli gözlem radarlarında görülemeyecek kadar küçüktür, fakat sürü halinde olduklarında bir çözünürlük hücresinde güçlü tek bir yankı olarak gözükabilir. Sürü halindeki kuşlar, sürekli hareket halinde olduklarından yansıyan sinyalin genlik ve hız bilgisinde dalgalanmalara neden olurlar. Kara kargaşası gibi zamanda durağan yapıdaki sinyaller MTI ile süzülerek elenebilirken hızlı seyreden kuş veya kuş sürüleri bu süzgeci aşarak radar ekranında hedef olarak belirebilir.

Kuş sürüleri, hızlarına ve sürü büyüklüğüne bağlı olarak hedef benzeri yansımalar oluşturmaları sebebiyle sahte tespit ve izlerin oluşmasına neden olabilmektedir.

Modern hava gözlem radarları füze veya İHA (İnsansız Hava Aracı) gibi hedeflere benzer RKA özelliklerine sahip kuşları da hedef olarak tespit edebilmektedir. Kuşların RKA (Radar Kesit Alanı) değerlerinin düşük olması ve düşük hızlarda hareket edebilmeleri özellikle düşük frekans değerlerinde çalışan gözlem radarlarında kuş-hava aracı ayırımını zorlaştırmaktadır. Bu da radarın yanlış alarm olasılığını artırmaktadır.

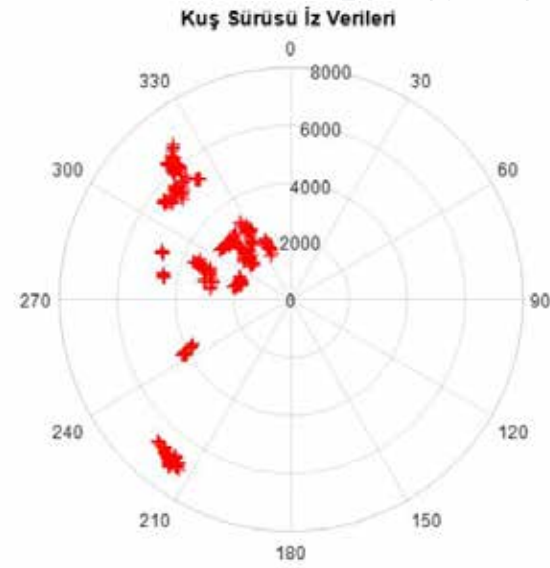
Eğer radar ile hedef arasında göreceli bir hareket söz konusuysa hedeften yansıyan sinyalin frekansında radyal hızla bağlı olarak bir sapma meydana gelir. Bu sapma hedefe ait Doppler frekansı olarak adlandırılır ve matematiksel olarak

$$f_{Dmax} = \frac{2f_0 V_r}{c}$$

biçiminde ifade edilebilir [1]. Burada f_{Dmax} azami Doppler kayması (Hz), f_0 iletilen sinyalin frekansı (Hz), V_r radar ile hedef arasındaki hızın radyal bileşeni (m/s) ve c ise ışığın boşluktaki hızıdır (m/s). Bununla birlikte radar ile tespit edilen cisme ait dönen ya da titreşen küçük parçalar varsa bu parçalar radar alıcısına ulaşan sinyalde frekans modülasyonuna ve bu durumda Doppler frekans kaymasında yan bantların oluşmasına neden olur. Oluşan bu yan bant etkileri mikro-Doppler olarak tanımlanır. Doppler ve Mikro-Doppler izleri, kuşların, hareket eden benzer RKA değerine sahip insan yapımı bir hedeften ayrıştırılmasında kullanılabilir.

RKA, Doppler ve Mikro-Doppler karakteristiklerinin yanı sıra, kuşlar uçuş özelliklerinden faydalanılarak diğer hedeflerden ayrıştırılabilir. Kuşların uçuş yönü ve ani yön değişimleri ile sürü halindeki manevraları uçuş karakteristikleri olarak kullanılabilir.

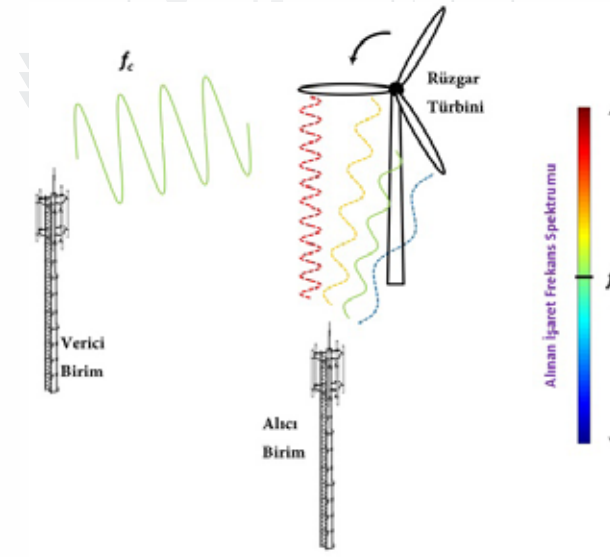
Kuş sürülerinin tespiti, izlenmesi ve uçuş güvenliği açısından değerlendirilmesi amacıyla TÜBİTAK BİLGEM ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) ile birlikte geliştirilen Kuş Tespit Radarı (KUŞRAD) 40 km yarıçapındaki bir alanda kuş, kuş sürüleri ve uçak hedeflerini tespit edebilmektedir.



Rüzgâr Türbinlerinin Etkisi

Radar sistemleri açısından hedeflerin tespit edilebilmesinde, hedeflerin RKA değeri büyük önem arz etmektedir. Yüksek RKA değerine sahip hedeflerin radar sistemlerinde tespit edilme ihtimalleri yüksektir. Rüzgâr türbini bileşenleri de elektriksel olarak büyük boyutları ve sahip oldukları malzemelerin özellikleri itibarı ile radar sistemleri için büyük ve anlık oryantasyona göre zamanla değişen RKA karakteristikleri sunabilmektedir. Radar sis-

teminin darbe gönderme anında pallerin bir kısmı uzaklaşan, diğer kısmı ise yaklaşan hareket davranışı sergileyecektir. Bununla birlikte, pallerin naselden pal uçlarına kadar olan farklı kısımları farklı radyal hızla sahip olacakları için, radar sisteminde geniş bir spektrumda türbine ilişkin Doppler frekans bileşenleri oluşabilecektir.



Rüzgâr türbinlerine olumsuz etkilerin giderilmesi için türbin konumlarının radarda tespit edilmesi önemlidir.

Rüzgâr Türbinlerinin Radara Olumsuz Etkileri

- Kargaşa oluşturma, gerçek hedef tespitini desensitizasyona uğratma, alıcı sistemlerin yüksek yansıtıcılık sebebiyle doyuma uğraması ve gölgeleme gibi etkileri
- Rüzgâr türbinlerinin radar sistemlerine çok yakın ve yüksek yansıtıcılığa sahip olmaları durumunda kuvvetlendirici katmanlarının doyuma gitmesi
- 3B radar sistemlerinde, düşük irtifa huzmelerinin türbin etkilerinden en fazla etkileneceği, yüksek irtifa huzmelerinde ise, yan loblardan alınan türbin kaynaklı sinyallerle ilişkin olumsuz etkilerin görülebilmesi
- ATC (Air Traffic Control) radarları açısından, türbinlerin, anlık duruş açılarına bağlı olarak RKA değerlerinin değiştiği ve zaman zaman 'glint' adı verilen yüksek parlamalar biçiminde radarda görülebilmesi
- Meteoroloji radar sistemlerinde, rüzgâr türbinlerinin tespit hatalarına yol açan gölgeleme etkisi oluşturabilmesi
- Hareket eden pallerin teorik olarak sonsuz sayıda üreteceği farklı Doppler bileşeninin, SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) görüntülemeye çapraz menzil bilgisinin Doppler kaymasıyla ilişkili olarak hesaplanması sebebiyle SAR görüntülerinde çok sayıda sahte hedefe ve ilave olarak görüntüde bulanıklaşmaya sebep olabilmesi şeklinde sıralanabilir.

Rüzgâr türbinlerine yönelik olumsuz etkilerin azaltılması veya giderilmesi kapsamında uygulanması gereken önemli işlemlerden biri rüzgâr türbini konumlarının radarda tespit edilmesidir. Türbin konumlarının hatalı tespit edilmesi veya belirlenmemesi durumunda, etki giderme algoritması verimli bir biçimde kullanılamayacak, hatta karışıklıklara sebebiyet verebilecektir.

Rüzgâr türbinlerinin etkilerini giderme hususunda eş zamanlı huzme işleme, geliştirilmiş CFAR teknikleri, sinyal işleme algoritmaları, MP (Matching Pursuit) optimizasyonu, CLEAN tabanlı metodolojiler, adaptif STC (Sensitivity Time Control) gibi yöntemler uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, tilt açısı modifikasyonu ile birlikte radar LoS'undan kaçınmak da bir yol olabilmektedir. Herhangi bir donanımsal veya yazılımsal değişiklik gerektirmeyecek biçimde, genel olarak radar sistemlerinin performansı üzerindeki etkilerini gideren; türbinlerin arazi arkasına gizlenmesi (terrain screening), radarda görünmez-özellikli rüzgâr türbinlerinin kullanılması, etkileri azaltacak farklı rüzgâr çiftliği yerleşimleri, birçok algılayıcıdan veri toplamaı esas alan veri birleştirme (data fusion), çeşitli otoriteler tarafından oluşturulan mania planlarına uyulması ve dolgu (gap-filler) radar sistemlerinin kullanılması gibi yaklaşımlar da mümkündür [2].

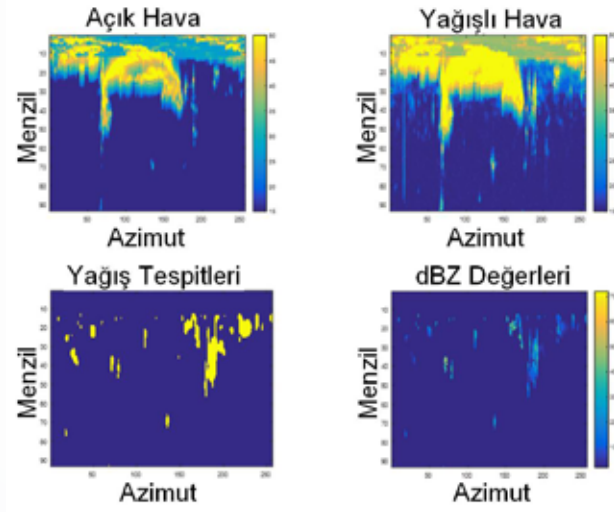


Yağış Kestirimi

Meteoroloji alanında ilk kez 1950'li yıllarda radarların kullanılmaya başlanmasıyla hava tahmini yapılabilmekte ve şiddetli yağış, dolu, tornado, sel gibi hayati önem arz eden doğa olayları erken tespit edilebilmektedir. Radarın bu alanda kullanım sebepleri

- Işığın geçemediği sis, bulut, yağmur ve diğer atmosferik koşullarda radarın görüş yeteneğinin olması,
 - Eş zamanlı olarak gökyüzünde birçok alanı gözlemleyebilmesi,
 - Kullanıcı olmadan da çalışmaya devam edebilmesi,
 - Gece ve gündüz çalışabilmesi,
 - Elde edilen verilerin sonraki analizler için saklanabilmesi,
 - Sadece yer seviyesinde değil, atmosferin kilometrelerce yukarısında da etkin olması
- şeklinde sıralanabilir. Meteorolojik olayların radar üzerindeki temel etkileri
- Kargaşa etkisi
 - Sinyalin bulut, yağmur, kar veya atmosferin kendi etkisi nedeniyle zayıflaması
- şeklinde özetlenebilir [3].

Yağış dışındaki hedeflerin tespiti düşünüldüğünde, yağıştan olan geri yansımalar bir kargaşa olarak önümüze çıkmaktadır ve özellikle X-band ve üzerindeki frekanslara sahip radarlarda hedef tespit ve takipte sorun yaratabilmektedir.



Kargaşa ve hava hedeflerinin olduğu radar verisinden yağış verisini ayırt etmek için tasarlanan sinyal işleme algoritmalarının amacı aslında yağış tespit etmek ve yağışı seviyelendirmektir. Bu amaç doğrultusunda ham veriye çeşitli filtreleme ve eleme işlemleri uygulanmaktadır. Yağış tespiti yapılan menziller için genlik değerleri kullanılarak yağış seviyesi hakkında bilgi üretilmektedir. Hava trafik kontrolü amacıyla TÜBİTAK BİLGEM ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) ile birlikte geliştirilen Milli Gözetim Radarı (MGR) yağış tespiti ve seviyelendirme kabiliyetine sahiptir.

Referanslar

1. V. C. Chen, The micro-Doppler effect in radar, Artech House, 2011.
2. A. Theil, L. J. van Ewijk, "Radar Performance Degradation due to the Presence of Wind Turbines", IEEE Radar Conference, Boston, MA, 17-20 Nisan 2007.
3. F. E. Nathanson, J. P. Reilly, & M. N. Cohen, Radar Design Principles: Signal Processing and the Environment, NASA STI/Recon Technical Report A, 1991.



Blokzincir Araştırma Ağı (BAĞ):

TÜBİTAK BİLGEM ve Üniversitelerimizin işbirliği ile kurulmuş bir araştırma platformudur.

Amacı;

Ülkemizin, hayatımızın her noktasında köklü değişiklikler yapmaya aday blokzincir teknolojileri konusundaki rekabet gücünü yükseltmek

Ülkemizde konu ile ilgilenen araştırmacıları bir araya getirmek

Eşgüdüm içinde çalışmalarına yardımcı olmak

BAĞ Koordinatörü TÜBİTAK BİLGEM

Üye Kurumlar





ÇOK İŞLEVLI FAZ DİZİLİ RADARLAR



İleri sayısal teknolojiler ve elektronik tarama kapasitesi birleştiğinde, radar demetleri herhangi bir anda herhangi bir yere yönlendirilebilmekte ve bu yapılırken birçok radar tasarım parametresi değiştirilebilmektedir.

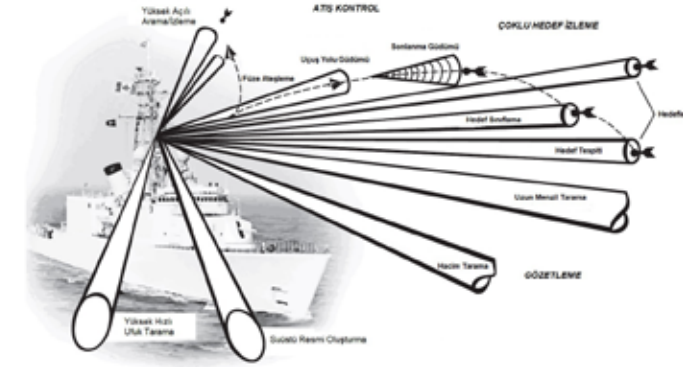
Teknolojik ilerlemeler radar sistemlerinin performansını arttırmış ve yeni uygulama alanları ortaya çıkmıştır. Radar sistem tasarımlarını etkileyen en önemli yeni teknoloji adımları sayısal teknolojilerdir. Sayısal teknoloji yönelimlerine kısaca bakacak olursak:

- Artan dinamik menzil (dynamic range) ve yüksek hızlı analog/sayısal dönüştürücüler
- Her geçen gün artan işlemci gücü
- Artan bellek kapasitesi ve belleklere erişim hızı
- Maliyetlerin düşmesi

Bahsedilen iyileşmelerin etkileri, radar alıcı ve verici alt-sistemlerinin tasarımında hali hazırda gözlemlenmektedir. Örnek olarak, verici tarafında dalga formlarının frekans, modülasyon, genlik, bant genişliği ve darbe tekrarlama frekansı değerlerinin hepsi çok yüksek bir doğrulukla seçilip, sayısal dalga formu üreteçlerine programlanabilmektedir. Bu tasarım parametreleri, iletilen her



Temel olarak, çok işlevli bir radar (Multi Function Radar - MFR), aynı antenle tek bir frekans bandında hem arama hem de izleme işlevlerini gerçekleştirmek için tasarlanmış bir radardır.



Şekil-1. Örnek bir Çok İşlevli Radarın Gerçekleştirdiği Görevler



Modern MPAR sistemlerinin ayırt edici özelliği; otomatik kaynak yönetimiyle, anten dizisinin eleman seviyesinde kontrolü yapılarak, taramadan taramaya demet çevikliği (dwell-to-dwell beam agility) ve arzu edilen anten patern sentezi imkânı sağlamasıdır.

darbeye farklı özelliklere sahip olacak şekilde dinamik olarak değiştirilebilmektedir. Alıcı tarafında, analog/sayısal dönüştürücüler gittikçe antene doğru yaklaşmakta, çok sayıda sistemde sayısallaştırma IF (intermediate frequency) frekanslarında gerçekleştirilebilmektedir. Böylelikle analog devrelerdeki birçok sınırlamadan kaçınılabilmekte ve sistem performansında iyileşme sağlanabilmektedir.

Bu gelişmeler, radar çalışma modlarının yazılımsal olarak programlanabildiği "yazılım-tabanlı" radar sistemlerinin kapısını açmış ve tamamen sayısal (all-digital) radar mimarilerinin gerçekleştirilmesine zemin hazırlamıştır.

Diğer bir teknoloji yönelimi ise elektronik tarama (Electronic Scanning) işlevlerindeki yeniliklerdir. Bu teknoloji ile radar huzmesi mekanik olarak döndürülmeye gereksinim duymadan elektronik olarak döndürülebilmektedir. Elektronik tarama, oldukça düşük yan bantlara sahip anten huzmeleri oluşturmaya imkân vermektedir. Böylelikle hem hedeflere yüksek kazançlı huzmeler yönlendirilebilmekte hem de girişim kaynakları bastırılabilir. Arama ve izleme fonksiyonlarının aynı anda gerçekleştirilebildiği çoklu operasyon modlarını destekleyen bir yapı oluşmaktadır.

İleri sayısal teknolojiler ve elektronik tarama kapasitesi birleştiğinde, radar demetleri herhangi bir anda herhangi bir yere yönlendirilebilmekte ve bu yapılırken birçok radar tasarım parametresi değiştirilebilmektedir. Bu birleşim çok işlevli radar sistemlerinin altyapısını oluşturmaktadır. Örnek olarak, bir su-üstü platformunda kullanılan bir çok işlevli radarın geniş görev yelpazesi şematik olarak Şekil-1'de verilmiştir.

Temel olarak, çok işlevli faz dizili bir radar (Multifunction Phased Array Radar - MPAR), aynı antenle tek bir frekans bandında hem arama hem de izleme işlevlerini gerçekleştirmek için tasarlanmış bir radardır. Bu tür radarlar, faz dizili anten yapıları kullanarak, yalnızca hedef arama ve takibini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda füze güdümü ve hedef sınıflandırma işlevleri gibi çok sayıda görevi icra eder. Radar Kaynak Yönetimi algoritmaları, kritik görevlerin önceliklendirilmesini ve radar kaynaklarının en etkin şekilde kullanımını sağlamakla görevlidir. İleri anten teknolojileri ile sofistike yazılım mimarilerinin birlikte çalışmasıyla söz konusu sistem kaynakları etkin şekilde kullanarak çoklu görevler icra edilebilmektedir.

Tipik olarak yerine getirilen görev grupları aşağıda sıralanmıştır:

- Arama ve İzleme (Search and Track)
- Arama, İzleme ve Kimliklendirme (Search, Track, and Identification)
- Arama, İzleme, Kimliklendirme ve Aydınlatma (Search, Track, Identification, and Illumination)
- Arama, İzleme ve Sınıflandırma/Ayrıştırma (Search, Track, and Classification/ Discrimination) (Balistik Füze Savunma Sistemlerinde).

Modern MPAR sistemlerinin ayırt edici özelliği; otomatik kaynak yönetimiyle, anten dizisinin eleman seviyesinde kontrolü yapılarak, taramadan taramaya demet çevikliği (dwell-to-dwell beam agility) sağlaması ve arzu edilen anten patern sentezine imkan vermesi olarak tanımlanabilir.

Vurgulanması gereken en önemli hususlardan biri, tek bir radarın zaman zaman birbiriyle çelişen çok sayıda fonksiyonu (uzun menzil arama ve atış kontrol gibi) en uygun frekans bandını bularak çözüm üretmeye çalışmasıdır.

Bu radar sınıfı için iki temel uygulama alanı söz konusudur:

1. Hava ve füze savunma sistemleri (Kara-konuşlu veya su-üstü platformlarda)
2. Hava-Hava ve Hava-Yer operasyonları için kullanılan savaş (combat) ve gözetleme maksatlı radar sistemleri (hava platformu konuşlu)

Frekans bandına göre MPAR uygulamalarının kapsamı kısaca Şekil-2'de verilmiştir. Söz konusu frekans bantlarında radarlara ayrılan alanların oldukça kısıtlı olduğunu belirtmekte fayda görülmektedir, özellikle C-band ve aşağısında çok sayıda haberleşme sistemine ilişkin uygulamalar radarlara ayrılan alanı küçültmektedir.

Vurgulanması gereken en önemli hususlardan biri, tek bir radarın zaman zaman birbiriyle çelişen çok sayıda fonksiyonu (uzun menzil arama ve atış kontrol gibi) en uygun frekans bandını bularak çözüm üretmeye çalışmasıdır. AEGIS AN/SPY-1 ve PATRIOT AN/MPQ-53/65 örneklerinde görüldüğü gibi, uzun menzil arama/gözetleme için ideal olan L bandı ve Atış Kontrol için ideal olan X bandı arasında kalacak şekilde S ve C bantlarında bir çözüm oluşturulmuştur. Bahsedilen çelişen durumların çözümü yeni nesil MPAR sistemlerinde alt ve üst frekans bantlarının entegre edildiği çözümlere gidilmesiyle sonuçlanmıştır. Böylelikle daha optimize arama ve izleme performansı sağlanmaktadır.

Çok işlevli radarların önemli bir özelliği, operasyonel gereksinime göre farklı işlevleri yerine getirmek üzere kolayca yeniden yapılandırılabilir kadar esnek olmasıdır. Yeniden yapılandırma, arama hacmi, seçilen dalga formları, sinyal işleme ve kontrol algoritmaları gibi parametrelerin değiştirilmesindeki esneklik nedeniyle mümkündür. Önemli sistem parametrelerini değiştirme esnekliği, kul-

lanıcının öngörülemez bazı operasyonel senaryolar için radarı hızla yeniden yapılandırmasına da olanak tanır.

Bir hava savunma sisteminin ihtiyaçları üzerinden değerlendirme yapılacak olursa, MPAR sisteminin sahip olması arzu edilen özellikleri olarak şu hususlar ifade edilebilir:

- Farklı elevasyon sektörleri için farklı tarama hızlarında, ihtiyaç duyulan menzillerde gözetleme ve arama yapabilme
- Arama modundan farklı güncelleme hızlarında (update rates) hedef izleme yapabilme
- 3-boyutlu hedef bilgisi oluşturabilme
- Arama performansını sekteye uğratmadan çoklu-hedef izleme
- Yüksek kargaşa ortamında çalışabilme

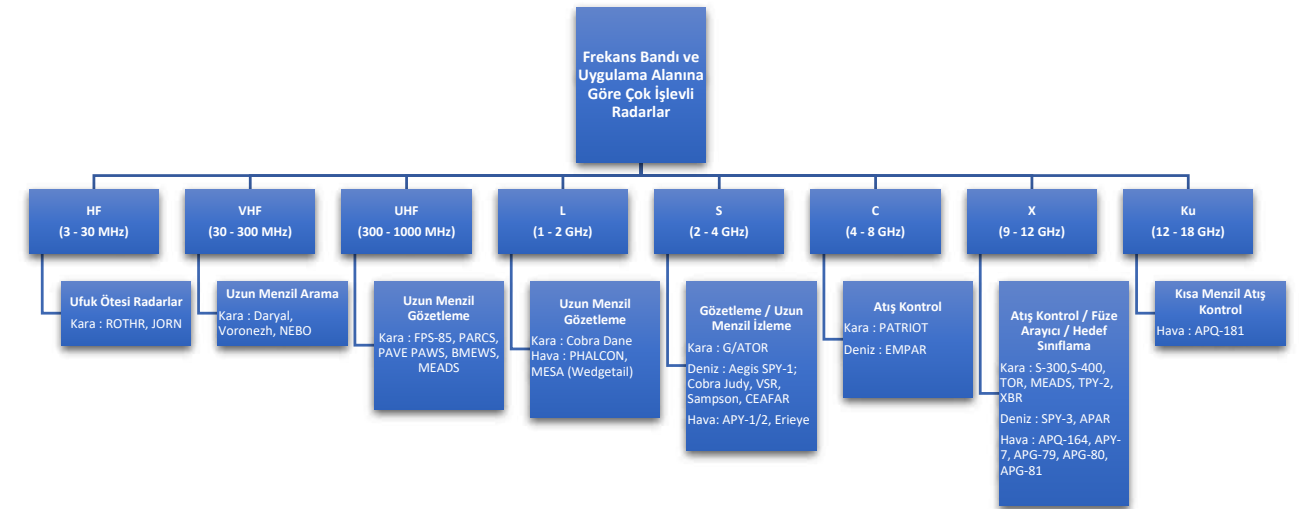
Görüldüğü gibi birçok farklı yapıda – sabit/dönen, aktif/pasif, tek/çoklu huzme v.b., – çok işlevli radar mimarisi gerçekleştirilebilir. Tasarımcılar söz konusu en uygun MPAR tipini gereksinim setine göre belirlemektedir. Mimari içindeki en kritik unsurlardan bir diğeri de radar kontrol programıdır. Her tarama için dalgaformu karakteristikleri, taşıyıcı frekansı, demetlerin yönlendirileceği koordinatlar, zaman aralığı tahsisi ve işaret işleme parametreleri bu program tarafından belirlenmektedir. Örnek olarak dalgaformu karakteristiklerinin belirlenmesini ele alalım.

Dalgaformu karakteristikleri modülasyon tipi, bantgenişliği ve süresi, “burst” dalga formları için darbe tekrarlama frekansı gibi parametrelerden oluşmaktadır. Dalgaformu bantgenişliği menzil çözünürlüğünü, süresi ise verilen bir hedef radar kesit alanı ve menzil için işaret/gürültü oranını belirlemektedir. “Burst” süresi ise koherent işlem aralığını (coherent-processing interval) dolayısıyla Doppler çözünürlüğünü belirler. Genel olarak radar kontrol programı, diğer görevlere de kaynak aktarımını düşünerek, hedef üstündeki aydınlatma süresini (“dwell time on target”) minimum kılacak şekilde dalgaformu karakteristiklerini belirlemeye çalışır. Örneğin bir hava savunma radarı için radar kontrol programı, kargaşa bastırma ihtiyacı

Çok işlevli radarların önemli bir özelliği, operasyonel gereksinime göre farklı işlevleri yerine getirmek üzere kolayca yeniden yapılandırılabilir kadar esnek olmasıdır.

nedeniyle, düşük irtifa arama ve izleme için pulse Doppler dalga formlarının kullanımını zorunlu kılabilir. Yüksek irtifa için ise, alıcı/verici yan demet bastırması yüzey kargaşasının olumsuz etkisini önleyebildiği için, tek-darbe veya “moving target indicator” (MTI) dalgaformlarının kullanımını tercih edecek yönde fonksiyon icra edebilmektedir.

Önemli sistem parametrelerini değiştirme esnekliği, kullanıcının öngörülemez bazı operasyonel senaryolar için radarı hızla yeniden yapılandırmasına da olanak tanır.



Şekil-2. Frekans Bandına Göre MPAR Sistemleri

İHA TESPİTİNDE RADAR UYGULAMALARI



Türkiye'de ilk somut dron tehdidi Mart 2015'te İstanbul Atatürk Havaalanı çevresinde ortaya çıkmış, bu durum hava trafiğinin güvenliğini olumsuz bir şekilde etkilemiştir.

Maliyeti düşük olduğu için kolayca temin edilebilen küçük İnsansız Hava Araçları-İHA'lar (dronlar), çeşitli amaçlarla farklı modlarda çalıştırılabilmektedir. Yirmi birinci yüzyılın başından beri dronlar askeri amaçlar için kullanılmaya başlandı. Teknoloji ilerledikçe iklim değişikliği izleme, tarım, doğal afetlerden sonra arama/kurtarma, fotoğrafçılık, film çekimi ve mal teslimi gibi ticari uygulamalarda kullanılarak yaygınlaştı.

Malzeme bilimindeki gelişmeler daha düşük ağırlık, daha uzun pil ömrü sağlayarak uçuş menzilinün uzamasını sağlamıştır. Bu sistemlerin kötü amaçlı kullanılması sivil ve askeri stratejik tesis ve bölgelerin (enerji santralleri, havaalanları, sınır bölgeleri, komuta ve karargâh binaları vb.) hava sahasında tehdit yaratacaktır. Bu nedenle söz konusu tesis ve bölgelerin dron tehdidine karşı korunması önem arz etmektedir.



Türkiye'de ilk somut dron tehdidi Mart 2015'te İstanbul Atatürk Havaalanı çevresinde ortaya çıkmış, bu durum hava trafiğinin güvenliğini olumsuz bir şekilde etkilemiştir. 30 Ağustos 2015 törenleri sırasında TRT'nin kayıt amaçlı olarak kullandığı dron paniğe yol açmıştır. Ekim 2015 tarihinde Atatürk havaalanında inişe geçmekte olan bir uçak tarafından görülen ve kontrol merkezine ihbar edilen bir dron hava trafiğine tehdit oluşturmuştur. Bu süreçte günümüze kadar yaşanan çok sayıda olay durumunun kritikliğini artırmaktadır.

Dron tehditlerine karşı koruma sağlamak amacı ile tehdidin tespit ve teşhis edilmesi, dronun tipine, bulunduğu

Küçük kuşların RKA'ları dronlara çok yakın olabileceğinden, radar operatörü ekranında oldukça kafa karıştırıcı bir tablo ortaya çıkabilmektedir.

ortam (meskun mahal, askeri alan, vb.) ve menziline bağlı olarak uygun karşı tedbir yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Tüm bu sistemlerin entegre ve koordineli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacı ile de Komuta Kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Dron tipine ve menziline bağlı olarak farklı yöntemlerin bir arada kullanılması ve sonuçların uygun şekilde kaynaştırılarak tespit ve teşhisin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca korunacak bölgenin büyüklüğüne ve yapısına bağlı olarak birden fazla sensörün konuşlandırılması gerekmektedir. Dronlar; radar kesit alanları(RKA), ışıma miktarı, lazer yansıtıcılığı, haberleşme tipi, parametreleri (frekans, modülasyon vb.), hız, motor/pervane gürültüsü gibi özellikler açısından farklılık gösterebilmekte ve Radar, Elektro Optik (EO) Sistemler, Lidar, COMINT/DF, Akustik algılama sistemleri ile tespit edilebilmektedir.

Tespit edilen hedefin ikinci aşamada teşhis edilmesi gerekmektedir. Tespit edilen unsurun gerçekten bize tehdit oluşturabilecek bir dron mu olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Entegre sistemlerde bu amaçla EO, Akustik ve LIDAR gibi yöntemlerden faydalanılmaktadır. Tehdidin optik cihazlarla görülecek mesafeye gelmesi sonrasında teşhis edilmesi sağlanmaktadır. EO cihazların radardan gelen veriler ile desteklenerek sürekli hedefi takip etmesi sağlanmaktadır. Hedefin iyice teşhis edilebilir/görülür hale gelmesi sonrasında otomatik optik takip algoritmaları ile takip edilmesi sağlanmaktadır. Bu amaçla Termal ve Gündüz görüş kameraları, LIDAR ve Akustik Sistemler kullanılmaktadır.

Hedefin tespit ve teşhis edilmesi sonrasında tehdit olduğuna karar verilmesi halinde etkisizleştirilmesi veya imha edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla korunacak tesisin konumu ve özelliklerine göre aktif/pasif önleme yöntemleri uygulanarak dronun etkisiz hale getirilmesi sağlanmaktadır. Aktif tedbir yöntemleri, genel olarak yüksek güçlü yönlendirilmiş enerji kullanan veya ateşli silahlar ile imha

etme olarak tanımlanmaktadır. Pasif önleme yöntemleri ise; RF karıştırıcı sistemler, Sivil GPS Aldatma Sistemleri, Taktik Sinyal Emülatörleri, vb. sistemler kullanarak tehdidin etkisiz hale getirilmesi veya ele geçirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Sistemde kullanılan tüm alt birimler arasında koordinasyonu sağlayan, temel karar destek algoritmalarını işleyen ve sisteme ilişkin tüm uyarı/alarm mekanizmalarını kontrol eden sistemler Komuta Kontrol Sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Dron tehdidine karşı önlem alabilmek için öncelikle tehdidin tespit ve teşhis edilmesi, ardından İHA'nın tipine, bulunduğu menzile ve bulunduğu konuma uygun karşı tedbir yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Farklı tipteki radarların diğer sensörler ve pasif radarlara göre kritik konulardaki performansı karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tabloda verilmiştir:



	Aktif Radar	Pasif Radar	Akustik Sens.	IR Sensör	EM Sensör (RF,Kom.)
Tespit Yeteneği	İYİ	ORTA	KÖTÜ	ORTA	İYİ
Kimliklendirme Yet.	KÖTÜ	KÖTÜ	ORTA	İYİ	ORTA
Girişime Direnci	İYİ	KÖTÜ	KÖTÜ	ORTA	ORTA
Şehir ort. Uyg.	ORTA	ORTA	KÖTÜ	ORTA	ORTA
Kurulum Kısıtları	ORTA	KÖTÜ	İYİ	İYİ	İYİ
Yaşam Boyu Maliyet	KÖTÜ	KÖTÜ	İYİ	ORTA	İYİ
Teknoloji Olg.	İYİ	KÖTÜ	ORTA	İYİ	İYİ

Tablodan da anlaşılacağı üzere tek bir sensör tipiyle gürbüz bir çözüme ulaşmak mümkün gözükmemektedir ve bütün sensörleri en fonksiyonel şekilde entegre eden optimum çözümlere ulaşmaya çalışılmalıdır.

Günümüzde dron teknolojilerindeki gelinen noktayı özetlemek gerekirse:

1. Dronların yetkinlikleri ve aerodinamik performansları büyük ölçüde iyileşmiştir.
2. Giderek daha karmaşık ve yetenekli yükleri daha küçük platformlara yerleştirme kapasitesi önemli ölçüde artmıştır.
3. Boyut, ağırlık, uçuş kabiliyeti ve uygulamada büyük farklılıklar gösteren çok çeşitli dron türleri vardır.



Parrott, DJI ve Yuneec gibi tanınmış firmaların öne çıktığı yaklaşık 20 farklı üretici pazarın büyük bölümünü elinde tutmaktadır. Şekil-1, DJI Phantom 4 PRO ve Mavic quadcopter İHA'larını göstermektedir. DJI Phantom, yaklaşık 35 cm'lik diyagonal açıklığı ve 1.3 kg'lık ağırlığı ile fiziksel olarak çok küçük olsa da, kaliteli bir kamera ve ek yük (payload) taşıyabilmektedir. Dronların çoğu, akü ve motor tertibatlarının parçaları hariç, plastikten yapılmıştır. Esasen, bu küçük dronlara plastik ekleri olan uçan pillerdir diyebiliriz ve bu nedenle çok küçük RKA'ları (-20 ila -30 dBsm) olmaktadır.

Bu kadar küçük RKA'lı hedefleri tespit etmek için, çok yüksek hassasiyete sahip bir radar sistemi tasarlamak gerekir. Bununla birlikte, küçük kuşların RKA'ları dronlara çok yakın olabileceğinden, radar operatörü ekranında oldukça kafa karıştırıcı bir tablo ortaya çıkabilmektedir. Açıkçası, radarın aydınlattığı alandaki hareket eden insanlar, hayvanlar, arabalar ve hatta klima fanları bile dronlarla karıştırılma potansiyeli oluşturmaktadır.

Alçaktan uçan (tipik olarak 100 m'in altında), düşük hızlı (tipik olarak 20 m/sn'nin altında) ve düşük RKA'lı bu hedeflerin radarla tespit, takip ve teşhisindeki temel zorluklar aşağıda sıralanmıştır:

- Yüksek kargaşa ortamında çok düşük RKA'lı hedeflerin tespiti
- Multipath ortamında hedefin özellikle yükseklik bilgisinin (elevasyon) hassas elde edilmesinin zorluğu
- Hedef izleme'nin güvenilirliği
- Bahsedilen diğer hedef tiplerinden ayırtılmak için gerekli olan sınıflama algoritmalarının zorluğu

Halihazırdaki ve yakın gelecekteki tehditlere ve söz konusu zorluklara karşı en uygun radar çözümününün 3 boyutlu aktif faz dizili radar olduğu söylenebilir.

- Dronların çok kısa mesafelerden aniden havalanıp oluşturabileceği tehditlerin gerektirdiği çok kısa zamanlı reaksiyon süresinin söz konusu olması

Yukarıda sıralanan zorlukların tümüne birden çözüm olacak bir radar sisteminin tasarımı oldukça zor bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Halihazırdaki ve yakın gelecekteki tehditlere ve söz konusu zorluklara karşı en uygun radar çözümününün 3-boyutlu aktif faz dizili radar olduğu söylenebilir.

Dron Tespit ve İmha Sistemi içinde yer alacak bir radar sisteminin tasarımı için dronun tespit, teşhis ve tedbir senaryosunun bilinmesi gerekmektedir. Bunu yapmak için, tespit edildikten sonra insansız hava aracına karşı uygula-



nacak tedbir yönteminin ne olacağını (Dronun kalkış noktasının koordinatlarını belirleme, dron sinyalizasyonunu karıştırma, yönlendirilmiş yüksek güçlü silahla imha etme, aktif/pasif önleme, karşı dronla müdahale, v.b.,) bilmemiz gerekir. Bu noktadaki farklı tercihler, radar sisteminin tespit, teşhis ve izleme isteklerini belirleyecektir.

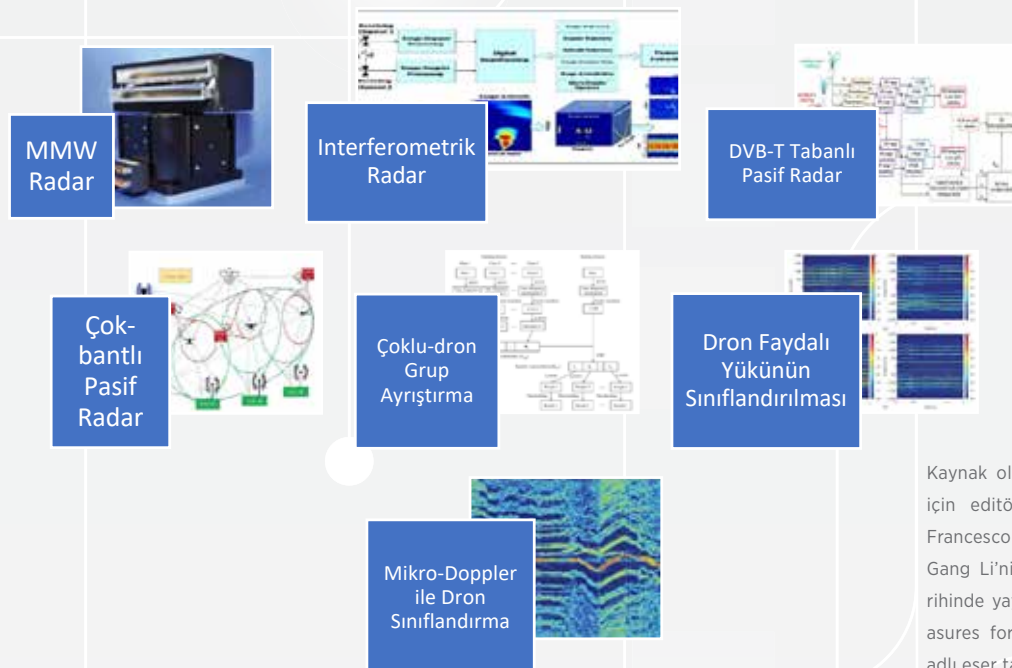
Bahsedilen sistem ihtiyaçları ve kısıtları dikkate alınarak halihazırda üzerinde çalışılan yenilikçi radar tipleri ve çalışma alanları kısaca sıralanmaktadır (Şekil-2):

- Milimetre-dalga Radarlar ile Dron Tespiti ve Sınıflandırması: Yüksek menzil ve Doppler çözünürlüğü avantajı ile dron tespit ve sınıflandırması, özellikle kuş/dron ayrıştırması.

- Interferometrik Radar ile Dron Tespit ve İzleme
- DVB-T Tabanlı Pasif Radarlar: Tespit ve Ayrıştırma için kullanılma potansiyeli.
- Çok Bantlı Pasif Radarla Drone Tespiti ve Konumlandırma: DVB-T sinyalleri ile geniş alanda tespit, DVB-S ve WiFi tabanlı sistemler ile de yakın menzilde konum hassasiyetinin iyileştirilmesi çalışmaları
- Çoklu dron gruplarının sınıflandırılması : Dron sürüşü içindeki farklı dron tiplerinin ayrıştırılması çalışmaları kapsamaktadır.
- Dron faydalı yükünün sınıflandırılması ve Dron Ayrıştırma Kullanımı
- Dron/kuş Micro-Doppler Radar İmzaların Oluşturulması ve Karşılaştırılması



Şekil-1. DJI Phantom 4 PRO ve DJI Mavic Air 2



Kaynak olarak daha detaylı bir okuma için editörlüğünü Carmine Clemente, Francesco Fioranelli, Fabiola Colone ve Gang Li'nin ortaklaşa yaptığı, 2021 tarihinde yayınlanan "Radar Countermeasures for Unmanned Aerial Vehicles" adlı eser tavsiye edilmektedir.

Şekil-2. Dron Tespit ve Sınıflandırmasında Kullanılan Farklı Radar Tipleri ve Teknikleri

DerinGÖRÜ

Cognitive Services

TÜBİTAK BİLGEM'den Kurumsal Geliştiriciler için Ücretsiz Yapay Zekâ Destekli Yüz Tanıma ve Görüntülü/Video analizi Platformu



Kişi Sayımı ve Temel Aktivite Kestirimi



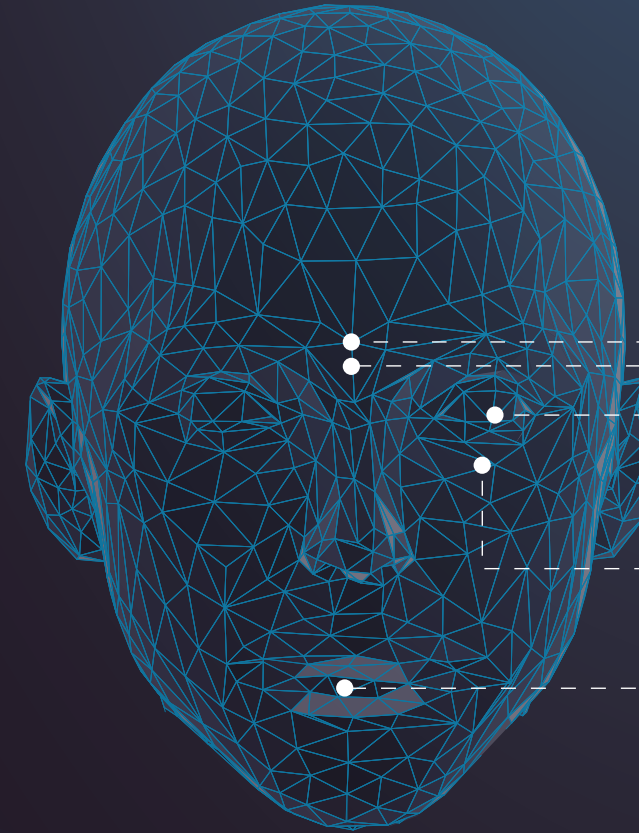
Konuşma Yazılandırma



El Parmak Hareketleri



OCR (Optik Karakter Tanıma)



Biyometrik Yüz Saptama/Tanıma



Büyük Veri Kümelerinde Biyometrik Yüz Tanıma



Duygu Durumu Tanıma



Bakış Açısı Kestirimi



Cinsiyet Tanıma, Yaş ve Yaş aralığı Kestirimi

HAVA TRAFİK KONTROL RADARLARI



Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğü'nün raporuna göre 2021 yılında hava sahamızda pandeminin etkisine rağmen yaklaşık 1,4 milyon uçuş gerçekleşmiştir.

Son iki yılda Covid-19 pandemisinin etkisiyle sayılar bir miktar azalsa da dünya genelinde uçak yolcu ve sefer sayıları çok yüksek miktarlarda gerçekleşmektedir. Örneğin, ICAO'nun yayınladığı yıllık rapora göre 2019 yılında tüm dünyada yaklaşık 38,3 milyon uçuş ile 4,5 milyar yolcu taşınmıştır. Ülkemiz de uçuş trafiği açısından oldukça yoğun bölgelerdendir. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) Genel Müdürlüğü'nün raporuna göre 2021 yılında hava sahamızda pandeminin etkisine rağmen yaklaşık 1,4 milyon uçuş gerçekleşmiştir. Böyle yüksek yoğunluğa sahip ve hatasız yönetime ihtiyaç duyulan kritik bir alanda, hava sahasındaki uçakları birbirlerinden güvenli bir mesafede tutarak hava trafiğinin

ICAO'nun yayınladığı yıllık rapora göre 2019 yılında tüm dünyada yaklaşık 38,3 milyon uçuş ile 4,5 milyar yolcu taşınmıştır.

emniyetli, düzenli ve hızlı bir şekilde akışını sağlama işi Hava Trafik Kontrolü olarak tanımlanabilir. Pek çok sektörde hayati kolaylaştırıcı uygulamaları olan radar sistemlerinin belki de en kritik ve neredeyse mecburi kullanım alanı askeri ve sivil hava trafik yönetimidir (Air Traffic Management - ATM). Kapsama sahasına giren hava araçlarının tespit ve takibini yapan Hava Trafik Kontrol radarları ATM sisteminin temelini oluşturur. 1950'lerden beri radarlar hava trafik yönetiminde kullanılmakta, gelişen teknoloji ile faydaları ve önemi daha da artmaktadır. Hava Trafik Yönetimi için kritik önem arz eden ve gözetim işlevlerini icra eden radar sistemleri şunlardır:

- Birincil Gözetleme Radarı (Primary Surveillance Radar - PSR)
- İkincil Gözetleme Radarı (Secondary Surveillance Radar - SSR)

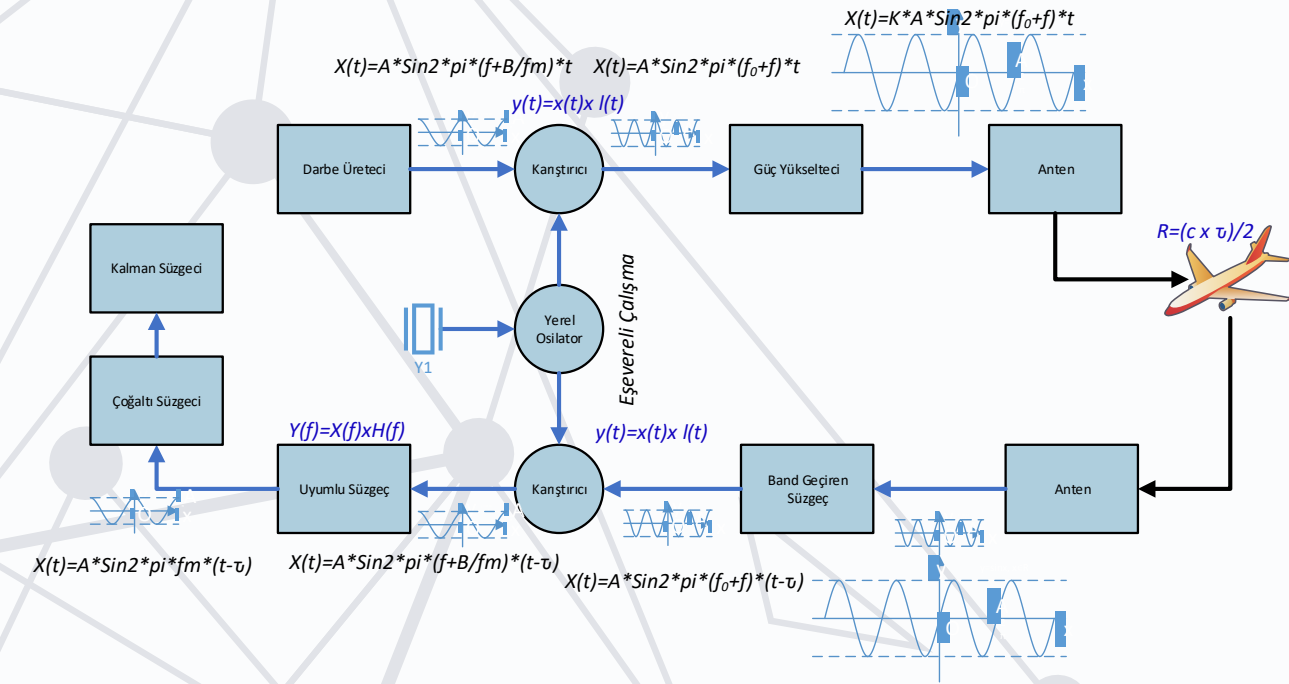
PSR sistemleri iş birliği olmayan (non-cooperative), SSR sistemleri ise iş birliği (cooperative) radar sistemleridir. PSR sistemleri gönderici tarafından havaya yayılan ve hedeflerden yansıyan sinyallerin almaçlar tarafından algılanması prensibine dayanır. SSR sistemleri ise gönderici tarafından gönderilen sinyallerin hava aracı tarafından alınması ve hava aracı tarafından yayınlanan cevapların gönderici tarafından geri alınabilmesi şeklinde çalışmaktadır. Bu bağlamda SSR sistemleri bir çeşit haberleşme sistemi işlevi de görmektedir. Şekil-1'de bir PSR ve SSR sistemlerinin birleşik (combined) çalıştığı bir radar istasyonu kule görüntüsü verilmektedir.



Birincil Gözetim Radarı - PSR

Birincil arama radarları havaya gönderilen elektromanyetik sinyallerin hava araçları yüzeyinden yansması ile geri dönmesi ve alıcı tarafından algılanması ile gerçekleşmektedir. Şekil 1'de temel bir PSR sistemi gönderim ve alım mimarisi verilmiştir. Radar tarafından modüleli bir darbe sinyali gönderilir ve belirli bir süre boyunca geri dönen yansımalar dinlenilir. Gönderilen darbe sinyali modülasyona (LFM, NLFM, Phase Coded) tabi tutulmuş bir cıvıltı işareti olarak üretilebilir. Üretilen bu temel sinyal bir karıştırma işlemine tabi tutularak yüksek frekanslara çıkarılır. PSR sistemleri genellikle 2.7-2.9 GHz RF aralığında çalışmaktadır. Yüksek frekanslara taşınan sinyal güç yükselteç

katında güçlendirilerek antene iletilir. Anten tarafından gönderilen sinyal hava aracına çarparak yansır. Yansıyan sinyal tekrar radar sistemine doğru yayılır. Radar anteni gelen çok düşük seviyedeki sinyalleri toplayarak bant geçiren süzgeç üzerinden aşağı yönde karıştırıcıya ulaştırır. Karıştırıcıda ara frekansa inen sinyal örneklenip uyumlu süzgeçten geçirilerek hedef tespit algoritmalarına gönderilir. Bu aşamada Doppler süzgeçleri, CFAR, CMAP ve ikili entegrasyona gibi işlemler uygulanır. Tespit edilen hedef bilgileri takip algoritmalarına gönderilir. Bu sayede hava araçlarının radarda olan uzaklığı, açısı ve hızları tespit edilerek hava aracı tespit ve takibi gerçekleştirilir.



Şekil 1: PSR Sistemi Temel Mimarisi

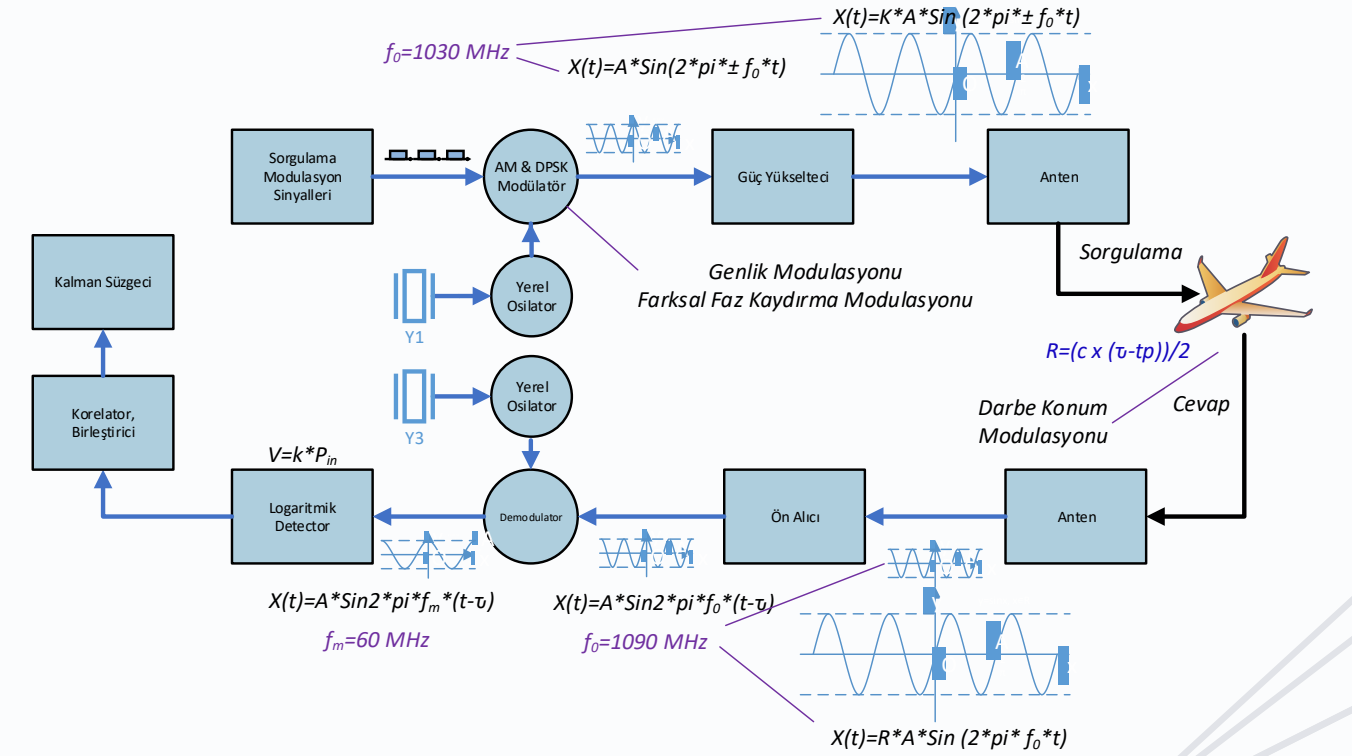
İkinci Gözetim Radarı - SSR

İkincil arama radarları hava araçlarına yapılan sorgu ve bu sorgulara karşılık hava araçlarının vermiş oldukları cevapların tespit edilmesi ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle iki yönlü bir sinyal gönderimi olduğundan işbirlikçi (cooperative) bir haberleşme sistemi olarak da yorumlanabilmektedir. Şekil 2'de temel bir SSR sistemi gönderim ve alım mimarisi verilmiştir. Üretilen sorgulama sinyalleri eski sistemler için (ATCRBS) genlik modülasyonuna (AM, A/C... sorguları), MODE-Seçimli sistemler için farksal faz kaydırmalı modülasyona (DPSK, UF11/UF4/UF5/UF20/UF21...) tabi tutulur. Modülasyonda kullanılan taşıyıcı sinyal 1030 MHz'dir. Modülasyonlu sinyal gerekli olan men-

zile ulaşmak üzere güç yükselteç katında güçlendirilerek antene iletilir. Anten tarafından yönlendirilen sinyaller hava aracına ulaşmaktadır. Hava aracı tarafından sinyallerin çözülebilmesi durumunda ilgili sorgu algılanarak buna karşılık gelen cevap hava araçlarında mevcut olan cevaplama cihazı (transponder) ile üretilerek sorgulayıcıya gönderilmektedir. Genel olarak A/C sorguları A/C cevapları ile MODE-Seçimli sorgular (DF11/DF4/DF5/DF20/DF21...) ile cevaplanmaktadır. Hava aracı ürettiği sorgulama cevaplarını darbe pozisyon modülasyonu (PPM) ile 1090 MHz'lik taşıyıcıyı modüle ederek gönderir. Hava aracı tarafından gönderilen bu cevap sinyalleri anten üzerinden

alıcıya ulaşarak önce güç seviyesi ayarlanır. Sonrasında de-modülasyona tabi tutularak 60 MHz'lik ara frekansa, daha sonra da logaritmik detektörden geçirilerek temel bant seviyesine indirilir. Bu aşamadan sonra veri örneklenerek sayısal sinyallere geçilerek korelasyon, birleştirme gibi işlemlere tabi tutulur. Son olarak üretilen veriler hedef

ve iz üretim algoritmalarına tabi tutulur. Bu sayede hava araçlarının radardan olan uzaklığı, açısı ve hızları tespit edilmektedir. Buna ek olarak hava araçlarından gelen cevaplarda var olan kimlik, yükseklik ve daha ileri seviyede bilgiler edinilmektedir.



Şekil 2: SSR Sistemi Temel Mimarisi

TÜBİTAK BİLGEM Hava Trafik Kontrol Sistemleri

Milli Gözetim Radarı (MGR), DHMİ ve TÜBİTAK BİLGEM iş birliğiyle ülkemizde milli imkânlar ile geliştirilen ilk Hava Trafik Kontrol Radarıdır. MGR prototipi 2015 yılında tamamlanmış ve TÜBİTAK Gebze Yerleşkesinde kurulmuştur (Şekil-3).



Şekil 3: Gebze Milli Gözetim Radarı (MGR)



2020 yılında ise radar sistemi çift yedekli (dual-redundant) hale getirilerek Gaziantep Havalimanı'na kurulmuştur (Şekil-4). Bu sistemde (MGRGA) S-bant katı hal darbe Doppler radarı olan bir temel gözetleme radarı (PSR) ve Mode-S ikincil gözetleme radarı (SSR) sistemi ortaklaşa çalışarak bir Milli Hava Gözetleme Radar Sistemi oluşturmaktadır. MGR GAZİANTEP sistemi (MGRGA) ICAO ve EUROCONTROL tavsiye ve standartlarını sağlayacak şekilde tasarlanarak test edilmiştir.

MGRGA-PSR, hava trafik kontrolü amacıyla 60 deniz mili yarıçapındaki alanda hava araçlarını tespit ve takip edebilen S-Bant radardır. Bu sistemde yüksek/düşük hız seçimi, hassas zaman kontrolü (STC) uygulaması, uyarlamalı kargaşa haritası ve Doppler süzgeçleri ile hareketli hedef tespiti (MTD) ve kargaşa azaltma işlemleri gerçekleştirilmekte, aynı anda 1000'e kadar hedefin takibi yapılabilmektedir. Ayrıca, sistemdeki yağış kanalı ile 1.45°'ye 0.95 nmi çözünürlükte 6 kademeli yağış şiddeti bilgisi ve yağış bölgelerinin 2-boyutlu konumu elde edilebilmektedir.

MGRGA-MSSR, hava trafik kontrolü amacıyla 200 deniz mili yarıçapındaki alanda hava araçlarını tespit ve takip edebilen L-Bant radardır. Sistem MODE-S Enhanced Level 4 olarak tasarlanmıştır ve Mode 1, Mode 2, Mode 3, Mode 3/A, Mode C ve Enhanced MODE-S fonksiyonları sağlamaktadır. Bununla birlikte ADS-B ve Data Link kabiliyetlerine de sahiptir. MODE-S SSR sisteminde RSLs, ISLS, IISLS, Monopulse İşleme, Fruit Eleme, Sistem Yönetim, Real Time Channel Control, Link Control, System Control & Monitor, SCF, Kayıt fonksiyonlarını icra etmektedir.



Şekil 4: GAZİANTEP Havalimanı Hava Trafik Kontrol Radar İstasyonu

Kaynaklar

- [1] <https://www.icao.int/annual-report-2019>
- [2] <https://www.dhmi.gov.tr/Sayfalar/AnnualReports.aspx>
- [3] Richard M.A, Fundamental of Radar Signal Processing, Artech House Inc., 1988.
- [4] Stevens M.C, Secondary Surveillance Radar, Artech House Inc., 1988.

MİLLİ BULUT DEPOLAMA ÇÖZÜMÜ

SAFİR DEPO

TÜBİTAK BİLGEM Bulut Bilişim ve Büyük Veri Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilen Safir Depo, bir milli bulut nesne depolama uygulamasıdır. Safir Depo üzerinde depolanan nesnelere internet üzerinden; akıllı telefonlar, tabletler veya bilgisayarlar aracılığıyla her an her yerden ulaşılabilir. Her an her yerden ulaşılabilir.

Safir Depo'ya yüklenen doküman, ses, fotoğraf, video gibi her tür dosya üzerinde klasörleme, taşıma, yeniden adlandırma gibi dosya işlemleri gerçekleştirilebilmesinin yanı sıra; ofis dokümanlarında çevrimiçi görüntüleme, düzenleme ve versiyonlama yapılabilmekte, paylaşım özelliği sayesinde Safir Depo'da bulunan dosya / klasörler, istenilen herkes ile kolayca paylaşılabilir.

Safir Depo Beta sürümü, 2017 Ağustos ayından bu yana internete açık canlı ortamda hizmet vermektedir.



YERE NÜFUZ EDEN RADAR TEKNOLOJİSİ



Gömülü cisimlerin uzaktan tespiti ve teşhisi, doğa bilimlerinden uzay araştırmalarına birçok mühendislik dalı için merak uyandırmıştır. 1920'li yıllardan bu zamana araştırmacılar toprak altındaki cisimleri açık bir şekilde gözlemleyebilecek farklı yöntem ve teknikler üzerinde çalışmaktadır. Henüz, tüm cevapları sağlayabilecek tek bir yöntem ve teknik bulunamamakla birlikte; sismik, akustik, elektrik, manyetik, elektromanyetik ve termal yöntemlerle belirli alanlarda faydalı sonuçlar elde edilmiştir. Bu teknikler arasında, Yere Nüfuz eden Radar (GPR) (İng. Ground Penetrating Radar) teknolojisi, kayıplı yakın ortamda geniş bantlı elektromanyetik dalgaların yansıyan işaretlerinden çözüm sağlayan bir mikrodalga algılama yöntemidir. Bu çalışma sınırlarından dolayı, diğer radar teknolojilerinden farklı özelliğe ve yapıya sahiptir. Yapısındaki anten tasarımı, sistem donanım/yazılımları ve sinyal işleme algoritmaları kendine özgün bir uzmanlık alanı içerdiğinden literatürde ayrı bir araştırma dalı olarak yer bulmuştur. GPR'ın bu teknik/teorik kısıtları, sistemin tasarımında pratik kabiliyete sahip mühendisler için merak uyandırmıştır.

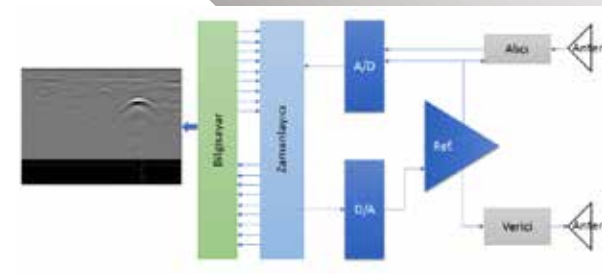
Elektromanyetik yöntem ile gömülü cisimlerin algılanması 1910 yılında Leimbach ve Löwy tarafından gözlemlenmiş, darbeleri radar ile sonuçlar 1926 yılında Hülsenbeck tarafından elde edilmiştir [1]. 1950'li yıllardan bu zamana GPR sistemleri kömür yataklarından buzul yüzeylere kadar birçok farklı ortamda kullanılmıştır. Bunu sağlayan temel prensip, belirli kayıp ortam değerinde (Eşitlik 1), bir GPR sisteminin ortamın dielektrik süreksizliğinden oluşan yansımaları algılamasıdır (Eşitlik 2).

$$L_a = 8.686 \times 2 \times R \times 2\pi f \sqrt{\left(\frac{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r}{2} (\sqrt{(1 + \tan^2 \delta)} - 1)\right)} \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_2} - \sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + \sqrt{\epsilon_1}} \quad (2)$$

Burada L_a , materyalin zayıflama katsayısını, Γ yansıma katsayısını ifade eder [2]. Bu prensipler GPR teknolojisinin arkeolojik araştırmalar, güvenlik ve savunma alanında mayın/EYP'lerin tespiti, yapı ve inşaat mühendisliği uygulamaları, polis ve adli analiz olayları, boru hattı ve kablo tespit uygulamaları, doğa/tarım sektörü, kutup ve son yıllarda uzay araştırmalarında kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu bağlamda, bir GPR sistemi bir uzmanın kontrolünde iken birçok farklı alanda güvenilir ve faydalı sonuçlar üretebilmektedir.

Literatür ve Dünya'daki mevcut GPR teknolojileri, darbe üreteçli (İng. Impulse), frekans atlamalı (SFCW) ve frekans modüleli (FMCW) olmak üzere üç farklı yapıda tasarlanmıştır.



Şekil 1. GPR diyagramı.



Bunların içinde en çok kullanılan teknoloji darbe üreteçli GPR sistemidir. Sistemin kullanım alanına göre anten modeli ve darbe genişliği belirlenir, kullanım sahasına uygun sinyal işleme algoritmaları geliştirilir. En genel haliyle bir darbe üreteçli GPR sisteminin blok diyagramı Şekil-1'de sunulmuştur.

Şekil-1'de sunulan GPR sisteminin kritik bileşenleri içinde darbe üreteci (verici), örnekle tut bloğu (alıcı), zamanlayıcı kontrol mimarisi yer alır. Sistem tasarımına bağlı olarak 20 V ile 500 V genlik aralığında ve 200 ps ile 20 ns arası darbe genişliğinde, bir darbe katarı 0.1 µs ile 100 µs aralığında tekrarlanarak gönderilir. Vericide anlık darbe işareti, depolanan enerjiyi hızlı bir şekilde bir iletim hattı üzerinden deşarj etmesiyle meydana gelir. Hızlı deşarj işlemi genellikle çığ (avalanche) modunda çalışan transistörler veya SRD diyotlar ile gerçekleştirilir. Böylece kısa süreli Gaussian veya türevlerini içeren dürtü sinyalleri oluşur. Bu işaretlerin yansımaları hassas örnekle tut devreleri vasıtasıyla alınıp yüksek hızlı ADC'ler ile sayısallaştırılır. Alıcıda Nyquist kriterine göre nanosaniyeler mertebesindeki sinyaller, mikrosaniyeler mertebesinde eş değer bir

versiyona indirgenir. Bu sayısal veriler sistematik sinyal işleme algoritmaları ile işlendiğinde anlamlı sonuçlar elde edilir.

Dünya'da GPR teknolojilerine yönelik sistem geliştiren ve en geniş ürün ağına sahip firmalar Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır. Bu firmalar çoğunlukla sivil sektörlerde hizmet verirken ihtiyaç halinde savunma sanayine yönelik çözümler de geliştirmiştir. Avrupa'da İsveç'te bir firma benzer şekilde sivil sektöre ürün geliştirirken, Almanya, İngiltere, Japonya ve Türkiye daha çok savunma sektöründe kullanılacak ürünler geliştirmiştir. Mayın tespitinde Almanya Vallon VMR3 sistemini geliştirmiştir. Japonya'nın ALIS sistemi bir diğer mayın tespit sistemidir. Türkiye, TÜBİTAK BİLGEM bünyesinde mayın tespitinde ETMTS-2 ve ETMTS-3 sistemini geliştirmiş, bu sistemler EGM ve TSK birimlerinde etkin olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yurt dışında iki ülkeye ihrac edilmiştir. TÜBİTAK BİLGEM 2021 yılında aynı alanda hizmet vermek üzere robota takılı çoklu GPR sistemini hayata geçirmiştir.

[1]. HÜLSENBECK, et.al.: German Pat. No. 489434, 1926.

[2] D. Daniels, Ground Penetrating Radar 2nd edition.

YÜZEY DALGALI YÜKSEK FREKANS RADARLARI



YDYF Radarlar ve küresel ağları sayesinde deniz meteorolojik parametreler ölçülerek ve modelleme yapılarak insanlığın dünya denizlerine hâkimiyetinde önemli gelişmeler sağlanmaktadır.

Yüksek frekans (HF) sinyalleri 3-30 MHz bandını kapsayan, uzun mesafeli radyo ve modem iletişimde geçmişten beri kullanılan sinyallerdir. Bu bantta yer dalgası ve gök dalgası olmak üzere iki yayılım kipi geçerlidir. İyonosfer katmanı gök dalgası kipinde elektromanyetik dalgalara yansıtıcı ve taşıyıcı bir ortam oluştururken yer dalgası kipinde örneğin, iletken deniz yüzeyi iyi bir yayılım ortamı sağlar. Yüzeysel Dalgalı Yüksek Frekans (YDYF) Radarları yer dalgası yayılımından yararlanır ve deniz yüzeyinden iletilen, deniz yüzeyinin kendisinden ve denizdeki bir platformdan geri saçılan elektromanyetik dalgaların algılanması temeline dayanır. Deniz yüzeyinden yansıyan sinyallerin analizi ilk defa 1955 yılında Chrombie tarafından yapılmıştır. Yansıma sinyalleri, Bragg saçılımı olarak adlandırılan ve yayılan elektromanyetik dalganın dalga boyunun yarısı ile aynı aralığa sahip deniz dalgalarından geri saçılma sonucu yüksek genlikle alınan rezonans sinyalleri ile bu saçılmaların ikincil ve daha yüksek derecedeki yansımalarından oluşan diğer sinyallerin birleşiminden

oluşmaktadır. Deniz dalgalarının temelde harmonik hareket yaparak devinmesi sonucu rezonans sinyalleri Doppler spektrumunda dar bantlı yüksek güçlü bileşenler, yüksek dereceli yansıma sinyalleri ise düşük güçlü yayvan bileşenler olarak gözlenir.

YDYF Radarları yapısal olarak verici ve alıcı anten dizi sistemlerine sahiptir ve dizi sinyal işleme teknikleri bakımından iki gruba ayrılırlar. Birincisi anten huzmesinin sayısal yolla oluşturularak döndürülmesi ile çalışan faz dizili sistemler, ikincisi sayısal yön bulma teknikleri uygulayan sistemlerdir. Bazı ticari sistemlerde her iki teknik de uygulanmaktadır. Günümüzde, yön bulma ile çalışan sistemler deniz meteorolojik ölçümlerin gerçekleştirilmesinde kompakt yapıları nedeniyle yaygın olarak kullanılmakta, deniz platformlarının izlenmesinde ise denemeleri sürdürülmektedir. Faz dizili sistemler deniz meteorolojik ölçümlerde kullanıldığı gibi deniz, liman trafiğinin izlenmesinde ve askeri amaçlarla kullanılmaktadır.

YF Radarların Kullanım Alanları

YDYF Radarları dünyada birçok ülkede deniz meteorolojik ölçümler için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Radar verilerini ve en iyi deneyimlerini paylaşmak amacıyla Ülkemizin de içinde olduğu Dünya YF Radar Ağı üç bölgeyi temsilen 2012 yılında kurulmuştur [1, 2]. Birinci bölge Avrupa, Afrika ve Orta Doğu'yu kapsamaktadır. Avrupa'da 2021 yılı sonunda 70'e yakın YDYF Radarı aktif durumdadır. EuroGOOS YF Radar Takımı 2014 yılında kurulmuş ve Avrupa'daki radarların dünyadaki görünürlüklerini artırmıştır. İkinci bölge Kanada, Amerika ve Güney Amerika ülkelerini kapsamakta, 176 radar Ağa gerçek zamanlı veri aktarmaktadır. Üçüncü bölge Asya ve Avustralya'daki 110 radarı kapsamaktadır. Bölgede yalnızca Kore takribi 45 YDYF Radarı çalıştırmaktadır.

Öte yandan YDYF Radarları arama kurtarma çalışmalarında, tsunami alarmında, deniz ulaşımı güvenliğinde, petrol kirliliğine müdahalede, deniz kirliliği tayininde, çevre değişimlerinin takibinde kullanılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde askeri amaçla ufuk ötesi menzilde hedef tespit ve takip için kullanılmaktadır. Birkaç bin kilometre menzile sahip Gök Dalgalı Radarlar ise soğuk savaş döneminde kıtalar arası füzelerin tespitinde kullanılmıştır.

YDYF Radarın Farklı Yanları ve Kaplama Diyagramları

YDYF Radarlarını diğer radarlardan ayıran temel özellik, yararlandığı elektromanyetik dalgaların yüzeysel dalgası olarak yayılması ve bu yayılımın avantajlarından yararlanmasıdır. Yüzeysel dalgaları yer dalgalarının bileşenlerinden biridir. Yer dalgaları, kaynak ile hedef arasındaki doğru- dan görüş hattında yayılan direkt dalga, dalganın yansıyarak hedefe ulaştığı yansıyan dalga ve hava ile yer arasındaki empedans farklılığından dolayı kılavuzlanmış dalga olan yüzeysel dalgası bileşenlerinden oluşur (Şekil-1). Dünya yuvarlaklığının etkisiyle ve kaynakla hedefin yüksekliklerinin de yere yakın olduğu durumlarda direkt ve yerden yansıyan dalgalar ihmal edilebilir, yer dalgası sadece yüzeysel dalgası haline gelir.

YDYF Radarları YF bandının üst sınırı olan 30 MHz'e kadar kullanılan endüstriyel ürünlerden olup, özellikle deniz suyunun iletkenliğinin avantajı sayesinde, diğer radarların ulaşamadığı ufuk ötesi mesafelere kadar ulaşabilmektedir. Yüzeysel dalgalarının ada arkasındaki toparlanma etkisi, YDYF Radarlarına diğer radarlarda olmayan önemli bir özellik kazandırmaktadır. Adaya çarptığında kırılan ve adanın üstünden yayılan yüzeysel dalgası, ada arkasında gölgede kalan bir alandan sonra tekrar toparlanarak yayılıma devam eder (Şekil-2). YF bandının ilk çeyreğindeki frekansa sahip radarlar uzun menzilleri ve toparlanma sayesinde diğer radarlara göre daha uzun kaplama alanlarına sahiptir ve kıyı şeridinden başlayarak 400 km menzile ulaşabilirler.

Anten Yapıları ve Yerleşimi

YDYFR Radarların nesnelerin uzaklığını ve yönünü tespit edebilmek için dar bir elektromanyetik huzmeye sahip olmaları ve huzmelerini nesnenin yönüne doğru çevrebilmeleri gerekmektedir. Antenlerin boyutları büyüdükçe mekanik olarak antenleri istenen doğrultuya döndürmek mümkün değildir. YDYF Radar sistemlerinde çözüm için birçok antenin doğrusal veya düzlemsel bir biçimde dizilmesiyle elde edilen faz dizili sistemler kullanılmaktadır. Dizinin elemanları arasındaki faz farkından yararlanıp dizi işleme algoritmaları ile belirli bir yönde ve dar bir huzme içinde kalan sinyaller algılanır. Bu sistemlerde dizinin huzme genişliği diğer bir deyimle açılabilir çözünürlük dalga boyu ve dizi uzunluğu arasındaki oran ile ifade edilir.

YDYFR Radarları alıcı ve verici antenlerinin konumuna göre monostatik ve bistatik olarak temel iki gruba ayrılır. Monostatik radarlarda alıcı ve verici antenleri birbirine yakın mesafededir. Monostatik radar sisteminin aksine bistatik radarlarda alıcı ve verici antenleri önemli bir mesafe ile ayrılmıştır. Bistatik radarlarda yayılan elektromanyetik dalganın doğrudan alıcılara etkilemesi ve doymaya uğratmasının önüne geçilebilir. Monostatik bir radara alıcı dizisi ilave edilerek bistatik özellik de kazandırılabilir. Böylece bir radar sistemi hem monostatik hem de bistatik olarak işlevini gerçekleştirebilir. Bir verici ile çok sayıda ayrı alıcı kullanıldığı durumlarda ise bu yapıya multistatik radar adı verilir. Şekil-3'te bir monostatik YDYF Radarının kurulum yerleşkesi temsil edilmektedir.

Modülasyon Tipi

YDYFR Radarlarında darbeli ve frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMCW) modülasyon tipleri kullanılır. FMCW modülasyonu tanımladığı menzil çözünürlüğü ile menzil ve hız verisinin eş zamanlı olarak ölçülmesini sağlayan bir tekniktir. Yüksek işaret-gürültü-oranı (SNR) değerlerine ulaşabilmeyi sağlayan FMCW modülasyonu, darbeli modülasyonundan tamamen farklıdır. Frekansı doğrusal olarak değişen sürekli bir dalganın üretilmesi ve yayılımı ile darbeli radar sinyali tarafından yayılan enerjiden çok daha büyük bir enerji yayılmış olur. Yayılan sinyal ile hedeften saçılarak gelen sinyal arasında bir frekans farkı oluşur ve bu fark hedef menziline doğrudan temsil eder. Yansıtıcı nesne alıcı antene göre radyal bir hıza sahipse, saçılma sinyali (hızdan kaynaklanan) bir Doppler frekansı oluşturur. Radar yalnızca referans frekansla bir farkı değil, ek olarak Doppler frekansı da ölçer. Ölçülen Doppler frekansı üzerinden hedefin radyal hızı hesaplanır. Kesikli frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMICW) modülasyonu ise FMCW modülasyonu geliştirmek üzere uygulanan bir tekniktir. Temel olarak izolasyonu ve hassasiyeti artırmak için kullanılır. FMICW radar ışımalarının belli bir zaman süresince durdurulması/kesilmesi ile elde edilir. Bu sayede radarın yaydığı enerji azaltılırken bu azalmaya bağlı olarak SNR değeri de kısmen azalır.



Algoritmalar

YDYFR Radarları temelde sahip oldukları bant genişlikleriyle menzil çözünürlüğü sağlarken, yatay açıda da algoritmalar aracılığı ile açılabilir çözünürlük sağlarlar. YDYFR Radarları bir geri yansıma sinyalinin yönünü bulabilmek için klasik ve alt uzay tabanlı varış-yönü kestirim algoritmalarından yararlanır. Klasik yöntemler sinyallerin istatistiksel bilgisini kullanmadan huzme oluşturma işlemlerine dayanır. Bu yöntemlerde anten dizisi fiziksel olarak hareket ettirilmeden, alınan sinyallerin genlikleri ve fazları bir döndürme vektörü ile çarpılarak, dizinin ışın diyagramı yansıma doğrultusunda en yüksek kazancı sağlayacak şekilde yönlendirilir. Böylece huzmenin ilgili doğrultularda yüksek değer alarak kazancının sabit kalması, diğer doğrultularda ise huzme sıfırları yerleştirilerek istenmeyen işaretlerin filtrelenmesi sağlanır. Alt uzay tabanlı yöntemlerde ise sinyal alt uzayının gürültü alt uzayına dik olmasından yararlanılarak varış-yönü belirlenir. Bunlar anten dizisinden alınan işaretlerin eşdeğişinti matrisinin öz değer ayrışımını yaparak çoklu işaret sınıflandırması yapabilen yüksek çözünürlük algoritmalarıdır. Alt uzay tabanlı yöntemler gürültü alt uzay vektörü ile sinyal tarama vektörünün dikliğinden yararlanarak birbirine çok yakın sinyal kaynaklarının dahi ayrımını yapabilirler. Bu algoritmalar yüksek hesaplama maliyetine rağmen çok iyi çözünürlük ve doğruluk sağlayabildikleri için yön bulmada tercih edilmektedir. Klasik huzme şekillendirme yöntemlerine geleneksel ışın huzmeleme (CBF), minimum varyanslı bozunumsuz tepke (MVDR), alt uzay tabanlı yöntemlere ise çoklu sinyal sınıflandırması (MUSIC) ve kök-çoklu sinyal sınıflandırması (Root-MUSIC) algoritmaları örnek olarak verilebilir.

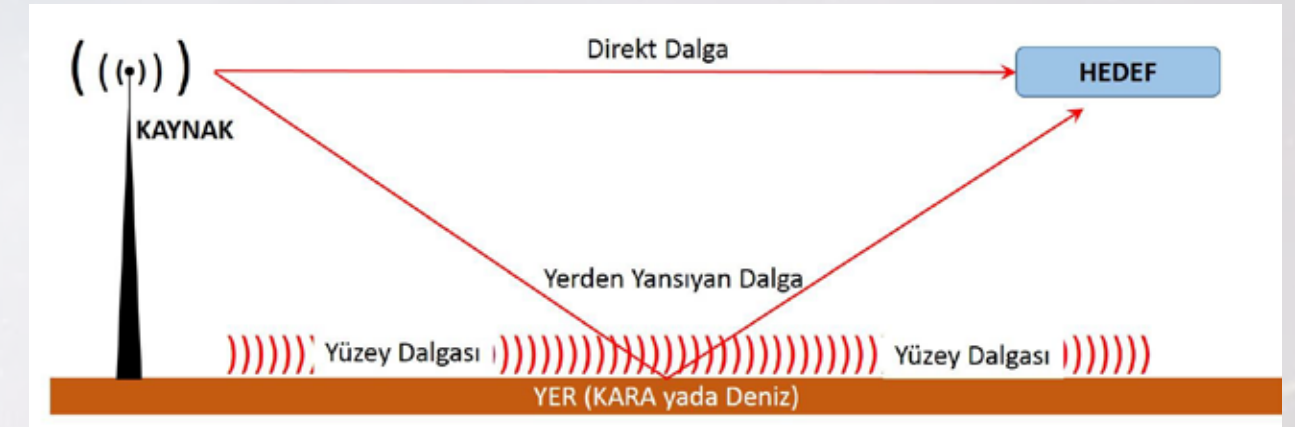
Yazılım Arayüzleri ve Veri Ürünleri

YDYFR Radarlarının parametrelerinin, tüm işlevlerinin ve bilgilerinin kullanıcıya sunulması radar ekranları ile gerçekleşmektedir. Deniz meteorolojik ürünlerin hesaplanması amacıyla işletilen YDYFR Radarlarında yüzey akıntı hızı ve dalga yüksekliği haritaları, yönlü ve yönsüz deniz dalga spektrumları, rüzgâr hızı ve yönü kestirimleri grafik arayüzler vasıtasıyla sunulmaktadır. Hedef takibi amacıyla sunulan bilgilerin başında ise radarın algıladığı hedef detayları gelmektedir. Hedef bilgileri, hedefin ayırt edilebilmesi için bir hedef numarasını, hangi konumda bulunduğunu saptamak için enlemini ve boylamını, süratini, radarın merkezine ne kadar uzaklıkta olduğunu anlamak için menziline, rotasını ve benzeri bilgileri içerebilmektedir. Hedef bilgilerinin farklı sembollerle görselleştirilmesiyle radar ekranları oluşturulmaktadır. Radar arayüzünde anten durumları gibi birçok görselleştirme seçeneğinin yanında temel grafiklerden bir tanesi PPI Skop radar ekranıdır. PPI ifadesi plan, pozisyon ve indikatör kelimelerinden oluşmaktadır. Geri yansıma ve yön bulma işlemleri ile elde edilen radar verileri PPI Skop radar ekranında menzil bilgisi ve yatay açıya (yanca) göre sergilenmektedir. YDYFR Radarları sahip oldukları yüksek çözünürlüklü Doppler radarı özelliklerinden dolayı diğer radarlardan farklı olarak kullanıcıya Menzil-Doppler düzlemleri sunmaktadır. Menzil-Doppler düzleminde sunulan iki boyutlu imaj radarın topladığı ham verilerin Fourier dönüşümü yardımıyla işlendikten sonra görselleştirilmesiyle oluşmaktadır. Menzil-Doppler düzlemleri menzil ve hız eksenlerinden oluşan, ilgili yönün detaylı bir kesitini gösteren, ayrıca üzerinde Bragg yansımaları ve hedef tespiti yapılabilen grafiklerdir.

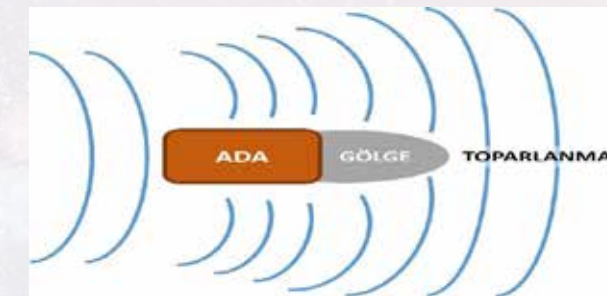
Sonsöz

YDYFR Radarları tüm dünyada uygun maliyetli, verimli araçlar olarak kabul görmekte ve oşinografi, deniz ticaret yolları ile münhasır ekonomik bölgelerin kontrolleri gibi bilimsel, ekonomik veya askeri amaçlarla kullanılmaktadır. YDYFR Radarları arama ve kurtarma, deniz trafiği, kaçakçılık ve korsan gemilerin tespiti, deniz kazaları ve petrol sızıntısı durumlarında hızlı müdahale ve kaynak yönetimi gibi faaliyetleri destekleyen gerçek zamanlı veriler sağlar.

YDYFR Radarlarının diğer uygulamaları arasında deniz durumunun ve rüzgârın haritalanması, tsunami erken uyarı sistemleri, gemi tespiti ve takibi yer alır. YDYFR Radarları ve küresel ağları sayesinde kapsamlı deniz meteorolojik parametreler ölçülerek ve modelleme yapılarak insanlığın engin dünya denizlerine hâkimiyetinde önemli gelişmeler sağlanmaktadır.



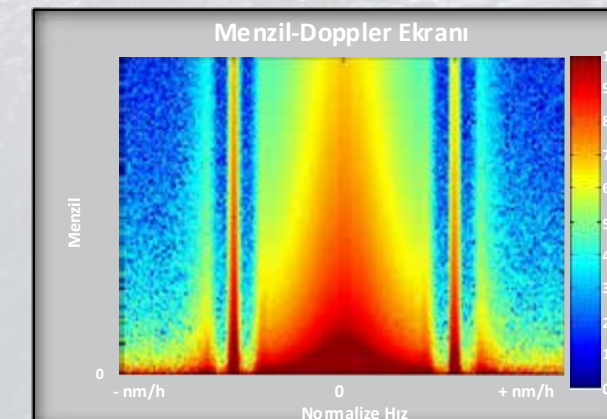
Şekil-1 Yer Dalgası ve Bileşenleri.



Şekil-2 Toparlanma Fenomeni.



Şekil-3 Bir Monostatik YDYFR Radarı Yerleşkesi.



Şekil-4 Menzil-Doppler Düzlemi

KAYNAKÇA

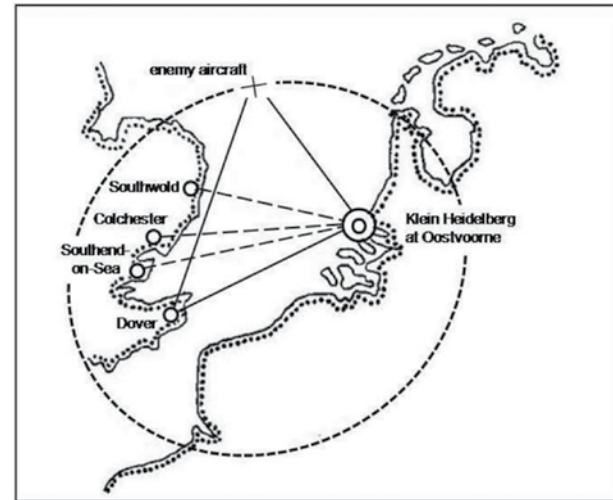
1. Sabrina Speich, «The Global HF Radar Network», Frontiers in Marine Science, Technical Report, 14 May 2019.
2. <https://www.mgm.gov.tr/sondurum/denizradar.aspx?uB=tr&uT=v&uB=p#sfb>



PASİF RADARLAR

laşan düşman uçakları için gözcü olarak kullanılabilenlerinden bahsedilen makale aslında pasif radarın çalışma prensibini de açıklıyordu.

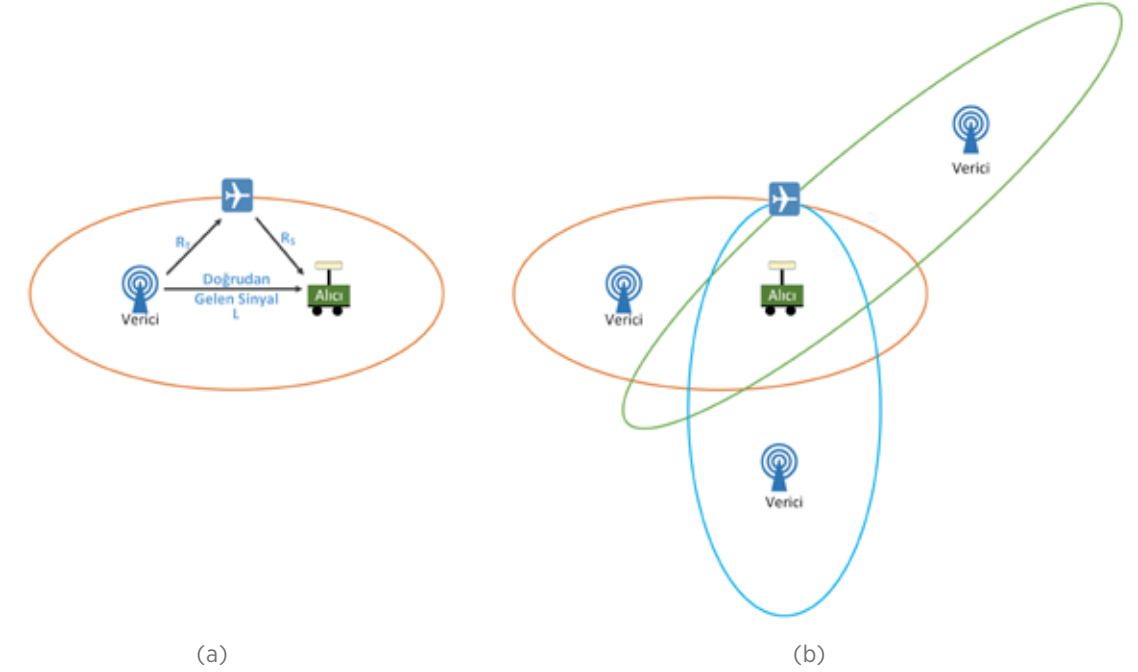
Herhangi bir yayın yapmadan sadece ortamdaki sinyalleri kullanarak hedef konum tespiti yapan pasif radarları Almanlar İkinci Dünya Savaşı sırasında kullandılar[2]. Klein Heidelberg olarak adlandırdıkları radar sistemi İngilizlerin hava savunması için kurdukları Chain Home radarını verici olarak kullandı (Şekil 1). Fransa, Belçika ve Hollanda kıyılarına kurdukları altı adet alıcı ile 1944 yılına kadar düşman uçaklarını izlediler.



Klein Heidelberg Radar[3]. Alıcı-Verici çifti Dover ve Oostvoorne'de konumlanmıştır. + işareti gösterilen uçak ise alıcı ve vericinin odaklarını oluşturduğu elipsin üzerindedir.

Pasif radarlar; Pasif Uyumlu Konumlandırma (Passive Coherent Localization - PCL) ve pasif verici takibi (Passive Emitter Tracking - PET) olmak üzere iki grupta incelenebilir. PCL tekniği, ortamda bulunan FM, TV, GPS veya iş birlikçi bir sinyalden faydalanarak, hedeften yansıyan işaretin doğrudan gelen işarete göre gecikmesi hesaplanır ve hedef konumlandırması yapılır. Elektromanyetik dalga yayılma hızı (c) dikkate alınarak, doğrudan gelen işaret

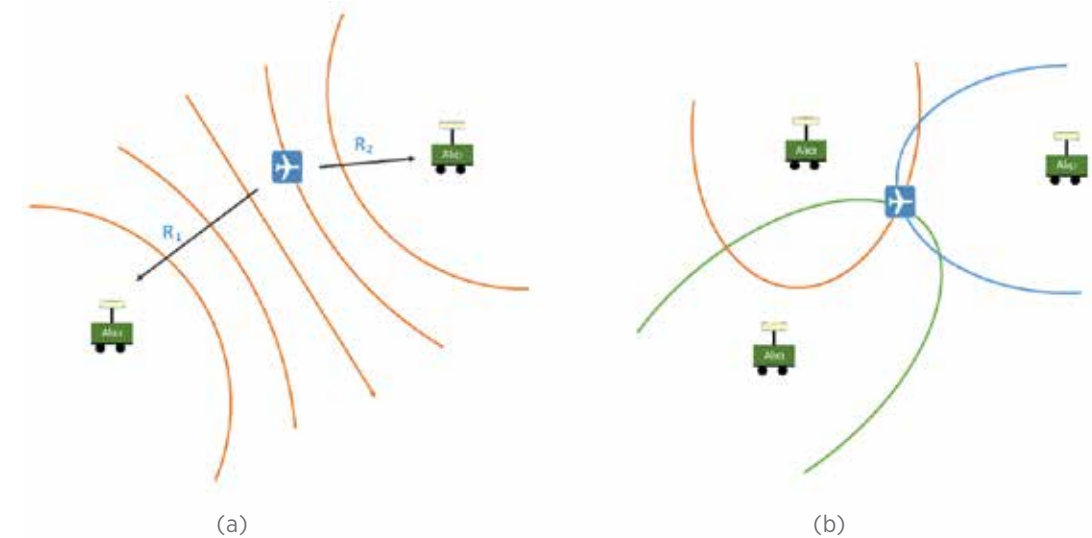
ile yansıyan işaretin zaman farkları $t_{\text{doğrudan}} - t_{\text{yansıyan}} = (R_T + R_S - L)/c$ bulunur. Verici ve alıcı arasındaki mesafe, L bilindiği için, bistatik menzil toplamı $(R_T + R_S)$ hesaplanır. Bu menzil toplamı odak noktaları verici ve alıcı olan turuncu elips şeklini oluşturur. (Şekil2a). Hedefin bu elips üzerinde olması gereklidir. Farklı verici-alıcı çiftleri kullanılarak elde edilen elipsler keşitirilerek hedef konumu bulunabilir (Şekil2b).



(a) PCL yönteminde bistatik menzil elipsi (b) Elipslerin keşitirilerek hedef konumunun bulunması

PET yöntemi ise sinyal varış zaman farkına (Time Difference Of Arrival, TDOA) dayanmaktadır. Senkron iki alıcının tespit ettiği sinyalden zaman farkı $t_{\text{alıcı1}} - t_{\text{alıcı2}} = (R_1 - R_2)/c$ (Şekil3a) şeklinde kestirilir. Bu zaman farkının oluşturduğu menzil farkı, $(R_1 - R_2)$, ise iki boyutlu düzlemde hedefinde üzerinde bulunduğu bir hiperbole denk gelmektedir. Bu sisteme Şekil3b'de gösterildiği gibi

üçüncü bir alıcı eklersek, 3 farklı zaman farkı ve üç farklı hiperbol elde edebiliriz. Bu hiperbollerinde keşimi hedefin konumunu verecektir. Alıcı sayısı artırılarak hedefin 3 boyutlu konumu da bu yolla bulunabilecektir. Ayrıca, TDOA ve yön bulma tekniklerinin birlikte kullanılmasıyla hibrit yöntemler de gerçekleştirilebilir.



(a) Zaman farklarından elde edilen hiperboller (b) Hiperbollerin keşitilmesi



1938 yılında Science News Letter dergisinde yayınlanan makalelerden birinde televizyon alıcılarının uzaktaki uçakları algılayabileceğinden bahsediliyordu [1]. Londra üzerinde uçaklar uçmaya başladığında televizyon yayınlarında hayalet olarak adlandırılan görüntülere neden olduğu fark edilmişti. TV vericisinden direkt alıcıya ulaşan işaret ile uçağa çarpıp yansıyor alıcıya gelmesi arasında bir zaman gecikmesi oluşuyor ve bu fark görüntünün iki kere gösterilmesine yani hayalet görüntülere neden oluyordu. Sinyaldeki gecikmenin uçağın televizyon alıcılarına olan uzaklığı ilişkili olabileceği ve savaş zamanında yak-

Pasif Radarların Avantajları

Görünmezlik: Pasif Radarlar ortamdaki sinyalleri kullanıldığından ve herhangi bir yayın yapmadığından fark edilmeden hedefin konumu takibini gerçekleştirebilir. Ayrıca, klasik radarların tespit etmede güçlük yaşadığı düşük radar kesit alanına sahip "hayalet" uçaklar pasif algılama sistemleriyle konumlandırılabilir. Klasik radarlar gönderdikleri sinyalin geri yansıyan bileşenlerinden hedef tespiti yaparlar. Hayalet uçaklar genellikle klasik radarların yayını radar doğrultusunda çok daha düşük güçte yansıtıldığından, bir başka deyişle radarın baktığı yöndeki radar kesit alanları düşük olduğundan tespit edilmeleri güçtür. Fakat farklı konumlara konuşlanan pasif alıcılar sayesinde tespit edilebilirler. 2018 senesinde Almanya'da F35 uçaklarının pasif radarlar ile 150km'nin üzerinde tespit ve takibinin gerçekleştiği belirtilmiştir[4].

Maliyet: Verici içermediği için üretim, operasyon ve tamir maliyetleri daha düşüktür.

Menzil: Hedef tespit menzili PCL sistemlerde kullanılan işbirlikçi sinyalin gücü, PET sistemlerde ise uçaktan yayınlanan sinyalin gücüyle orantılıdır. Bu sistemler, yüzlerce kilometre menzile sahip olabilirler.

Spektrum: Harici herhangi bir sinyal gönderilmediği için frekans tahsisine gerek yoktur.

Pasif Radarların Dezavantajları

Sinyal Bağımlılığı: Pasif radarlar herhangi bir sinyal yaymadığından ve tamamen ortamda veya hedefteki sinyal kaynaklarını kullandığından bu sinyallere doğrudan bağımlıdır. Ortamda iş birlikçi sinyal kaynağının bulunmaması durumunda PCL sistemleri, hedef üzerinde bulunan tüm yayın kaynakları kapatıldığında ise PET sistemleri

gayri faal olacaktırlar. Bu durum taktik sahada karşılaşılabilecek bir durum olsa da ortamdaki tüm iş birlikçi yayınların devreden çıkması veya hedefin sürekli tüm sinyalleri kapalı olarak görev icra etmesi pek mümkün olmayacaktır.

Yerleşim Geometrisi: Pasif radarların konum hatası alıcıların yerleşim geometrisine duyarlıdır. Alıcıların yerleşim düzeni nedeniyle farklı bölgelerde farklı hata seviyesine sahip olabilirler. Bu nedenle, izlenecek bölgeye uygun şekilde yerleştirilmesi önemlidir.

Zaman Senkronizasyon İhtiyacı: Pasif radarlar yüksek zaman senkronizasyonuna ihtiyaç duyarlar. Senkronizasyon seviyesindeki iyileşme hedefin konum tespitinde iyileşme sağlar.

Pasif radar prensibine dayanan alıcı sistemler TÜBİTAK BİLGEM'de çalışılan konulardan biridir. Bunlardan en önemlisi, geçtiğimiz yıl testleri başarı ile tamamlanan Pasif Yayın Algılama Sistemi'dir (PYAS) (Şekil 4). Dört farklı bölgeye kurulan ve TDOA prensibine göre çalışan sistem, hava platformlarından yayınlanan sinyalleri tespit etmekte, konumlandırmakta ve takip etmektedir. Elektronik Destek alanında pasif radarların yeteneklerinin önem teşkil ettiği ve yakın gelecekte kullanımlarının artarak devam edeceği öngörülmektedir. Özellikle donanım alanında SoC (System On Chip) ve IoT (Internet Of Things) alanındaki gelişmeler ile yazılım alanındaki yapay zeka ve derin öğrenme çalışmalarının pasif radar alanında kullanımı, bu sistemlerin modern ordulardaki kullanımını arttıracakları öngörülmektedir. Hatta sadece askeri uygulamalar ile de kalmayıp gelecek on yılda otonom araçlardan bina içi konumlandırmaya afet durumu senaryolarından eğlence sektörüne kadar birçok alana uyarlanmış uygulamaların görüleceği beklenmektedir.



PYAS sistemi ve harita gösterim ekranı

Kaynakça:

[1] May Spot Airplanes With Television Receivers, Science News Letter, April 23,1938 p 269

[2] Griffiths, H.D. and Baker, C.J. (2017), An Introduction to Passive Radar, Artech House Publishers.

[3] Griffiths, H. and Willis, N., "Klein Heidelberg—The First Modern Bistatic Radar System" in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 46, no. 4, pp. 1571-1588, Oct. 2010, doi: 10.1109/TAES.2010.5595580.

[4] Sprenger, S. (2019), "Stealthy no more? A German radar vendor says it tracked the F-35 jet in 2018 — from a pony farm",

<https://www.c4isrnet.com/intel-geoint/sensors/2019/09/30/stealthy-no-more-a-german-radar-vendor-says-it-tracked-the-f-35-jet-in-2018-from-a-pony-farm/>MAYIN / EYP'LERİN
TESPİTİNDE ARACA / ROBOTA TAKILI VE
ELDE TAŞINABİLİR SİSTEMLER

- Elektromanyetik indüksiyon (Metal dedektörü)
- Yere nüfuz eden radar (GPR)
- Kablo tespit teknolojileri

Milli Metal Dedektörü (OZAN)

• Uzun yıllar yurt dışından temin ettiğimiz metal mayın tespit dedektörleri kapsamında, kuvvet personelimizin yüksek tespit doğruluğu, hafiflik ve kompakt tasarım ihtiyaçlarını dikkate alarak OZAN - Katlanabilir Mayın Tespit Dedektörü, milli olarak geliştirerek KKK'ya teslim ettik.

• Kuvvet personelimizin ihtiyacı olan yüksek sayılı metal mayın dedektörü alanında hem yurt dışı bağımlılığın önüne geçmiş olduk hem de yurt içinde birçok alt sanayiye istihdam sağladık.

• Geliştirdiğimiz OZAN - Katlanabilir Mayın Tespit Dedektörü, bu alanda uzun yıllar ürün geliştiren global firmalar ile rekabet edebilecek, hatta daha ileri seviyededir.

Mayın / EYP Tespit Teknolojileri



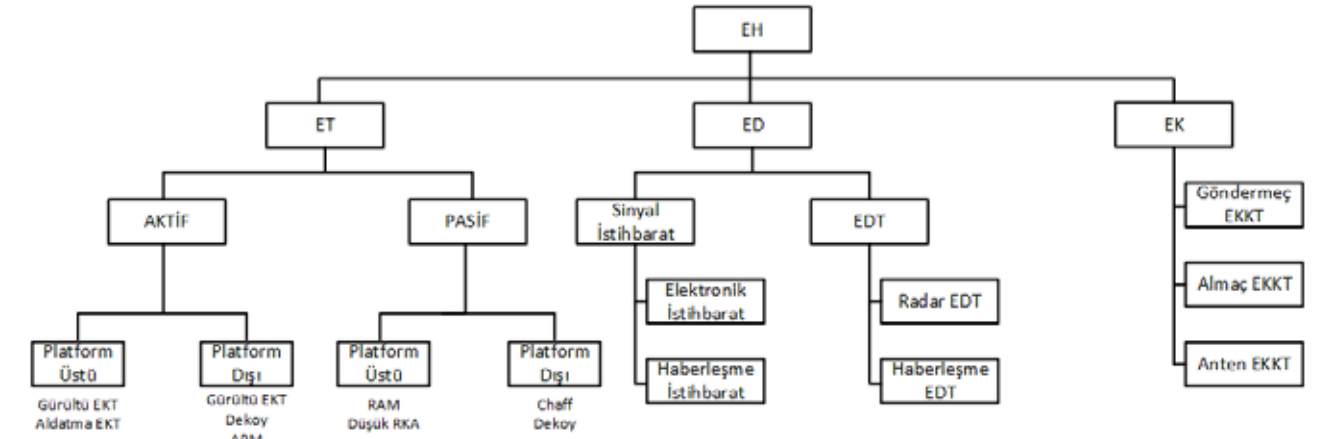
RADAR TAARRUZ VE KORUNMA



Radar Elektronik Harp (EH) konsepti radarların hava platformlarına ciddi tehdit olduğu anlaşılan 2. Dünya Savaşı ve sonrasındaki Vietnam Savaşı ile dünya çapında önem kazanmıştır. Özellikle ABD'de ve Avrupa'da tehdit radarlarını algılayabilecek basit fakat pilota farkındalık yaratabilecek radar ikaz alıcı sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Zaman içinde radar teknolojisinin gelişmesi bu alıcı sistemlerin de geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur ve radar EH konsepti modern savaş senaryolarında yerini almaya başlamıştır. EH konsepti zaman içinde teknolojinin gelişmeye devam etmesi ve savaş senaryolarının evrimleşmesiyle çeşitli güncellemelere ve değişimlere uğrayarak büyümeye devam etmiş ve etmektedir. Radar EH konsepti elektronik harbin temelinde yer almakta ve ilk günkü önemini korumaktadır.

Radar sistemlerinin algılanıp, tespit edilmesiyle beraber hava platformlarının bu tehdit radar sistemlerine karşı korunması için bazı tedbirlerin alınması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu ihtiyaç da elektronik harbin Elektronik Taarruz (ET) kısmını geliştirmiştir.

Radar sistemleri çalışma performansları da aynı şekilde düşman unsurlarca uygulanan EH faaliyetleri ile zafiyete uğramış, düşman unsurların daha kolay istihbarat elde etmesine neden olmuştur. Radar sistemleri bu faaliyetlerin etkisini azaltma amacıyla bazı önlemler almaya başlamıştır. Bu önlemler genel radar EH literatüründe Elektronik Korunma (EK) denilen bölümü ortaya çıkarmıştır.



Şekil 1 Genel Radar Elektronik Harp Konsepti ve Bölümleri

Radar Elektronik Taarruz

Radar sistemlerinin çalışma performansını zafiyete uğratarak dost unsurlara (hava/kara/deniz platformları, personel, silah sistemleri vb.) karşı yürütülen elektromanyetik faaliyetlerin (tespit, takip ve angajman vb.) olasılıklarını azaltmak amacıyla korunan platform veya yardımcı platformlar tarafından alınan karşı tedbir önlemlerine Elektronik Taarruz denilmektedir. ET teknikleri özelliklerine göre pasif ve aktif olabilmektedir. Genel ET şeması Şekil 1 ile verilmiştir.

Pasif ET Teknikleri

Pasif ET sistemleri platform üstünde (onboard) ya da dışında (offboard) olacak şekilde konumlandırılabilir. Tehdit radarına karşı kullanılan chaff ve pasif dekok gibi sistemler, üstlerinde enerji ihtiyacı gerektiren göndermeç ve almaç gibi alt sistemlere sahip olmadıkları için pasif olarak isimlendirilmektedir. Chaff ve pasif dekok kullanılarak platformla benzer radar kesit alanına sahip sahte hedefler oluşturulması ve radarın aldatılması amaçlanmaktadır. Ayrıca hava/deniz platformunun tasarımında hedeflenen düşük radar kesit alanı tasarımları ve radar sinyallerini zayıflatıcı materyaller de (RAM - Radar Absorbing Material) tehdit radarları tarafından platformun tespit ve takip edilmesini zorlaştırdığı için pasif ET teknikleri arasına girmektedir.

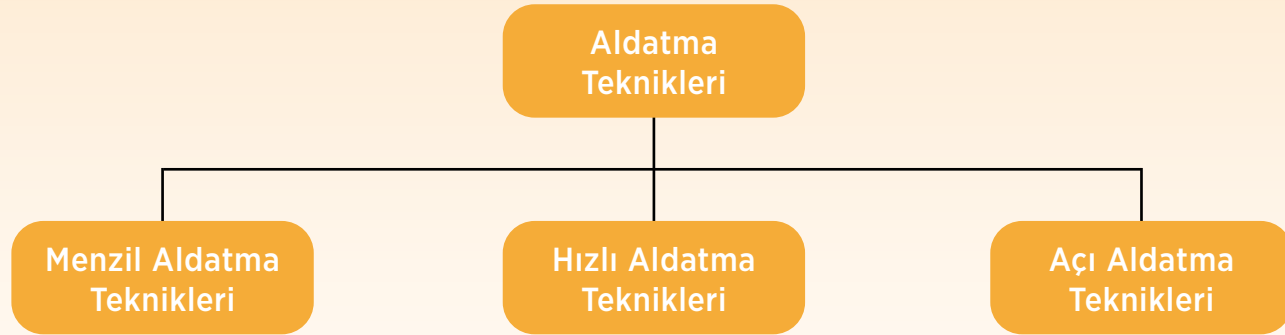
Özellikle tehdit radar platformuna daha düşük sinyal gücü ulaşmasına neden olan görünmezlik (Stealth) tasarımları son zamanlarda önem kazanmıştır. Yeni hava/deniz platformlarının tasarımlarında tehdit radarların çalıştığı frekans bantları göz önünde bulundurularak hedefin o

frekans bantlarında daha düşük radar kesit alanına sahip olması amacıyla mühimmatların gövde içine taşınması, motor açıklıklarının küçültülmesi radar görünmezlik tasarımı için alınan önlemlerden sadece bazılarıdır.

Aktif ET Teknikleri

Aktif ET sistemleri, pasif ET sistemlerine benzer şekilde platform üstünde ve dışında yer alabilmektedir. Aktif ET, isminden de anlaşılacağı gibi enerji ihtiyacı gerektiren göndermeç ve almaç sistemlerine sahiptir. Bu sistemler vasıtasıyla tehdit radara karşı yapılan RF yayınlar sayesinde radarın almada zafiyet yaratılmaya çalışılmaktadır. Uygulanan ET teknikleri, radar operatörünü aldatmak ve/veya radar almada zafiyet seviyesinin artırılmasıyla hedef sinyalinin kaybolmasını sağlayıp karıştırmak amacıyla gerçekleştirilebilir. Aktif ET teknikleri doğası gereği pasif ET tekniklerinden daha karmaşık olup uygulaması daha zordur çünkü aktif ET tekniklerinin uygulanabilmesi için tehdit radarın göndermeç ve almaç bilgilerine ihtiyaç duyulmakta ve bu tür bilgileri de elde etmesi oldukça zor olmaktadır. Ayrıca aktif ET tekniklerinin tehdit radarlar üzerinde denenmesi, etkilerinin laboratuvar ve açık sahada gözlemlenmesi hayati olup bu gereklilikler aktif ET tekniklerinin tasarlanmasını ve hayata geçirilmesini meşakkatli kılmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle ET teknik tasarımcılarının kullanımına sunulan Dijital RF Hafıza (DRFM (Digital RF Memory)) teknikleri tehdit radarın aldatılabilmesi ve karıştırılabilmesi için büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tehdit radara uygulanabilen aldatma teknikleri Şekil 2 ile verilmiştir.



Şekil 2 Aldatma ET Teknik Çeşitleri

ET tekniklerinin hangi tür tehdit radarına karşı uygulandığına göre teknik özellikleri değişebilmektedir. Tespit radarına uygulanan ET tekniklerinde amaç radara fazla sayıda sahte hedef göndererek gerçek hedefi saklamak olabileceği gibi gürültü uygulayarak almacı hassasiyetinin azaltılması, hedef tespit menziline küçültülmesi ve radarın gerçek hedefi tespit edemeyecek kadar etkilenmesinin sağlanması olabilmektedir.

Takip radarlarına uygulanan ET tekniklerinde ise amaç radarın menzil, hız ve açı takip kapılarının tehdit hava platformunun üstünden alınması olmaktadır. Takip radarlarına uygulanan gürültü tekniklerindeki amaç ise tespit radarlarına benzer şekilde radar almacı hassasiyetini zafiyete uğratarak takip menziline azaltılması veya radarın gerçek hedefi takip edemeyecek ölçüde aldatılmasıdır.

Elektronik Korunma

Elektronik Korunma, eski isimleriyle Elektronik Karşı-Karşı Tedbir (EKKT) veya Elektronik Koruyucu Önlemler, dost veya düşman unsurlar tarafından uygulanan Elektronik Harp faaliyetlerinin dost unsurların kullanmış olduğu radar ve elektronik harp sistemlerinin çalışmalarını olumsuz yönde etkilememesi ve düşman kuvvetlerinin eline bilgi geçmemesi amacıyla yürütülen faaliyetler olarak tanımlanmaktadır.

Radarlarda kullanılan Elektronik Korunma Tedbirleri alıcı, verici ve antende kullanılan teknikler olmak üzere genel olarak üç ayrı grupta incelenmektedir. Bu teknikler genel olarak radarların düşman unsurlarca tespit edilmesini zorlaştırmak ve kendilerine uygulanan karıştırmanın etkisini bastırmak amacıyla uygulanmaktadır. Radarda kullanılan EKKT'lerin bazıları şu şekildedir:

Vericide Kullanılan EKKT Yöntemleri

Radar vericilerinde kullanılan EKKT yöntemleri, radar tarafından gönderilen sinyalin gücü, frekansı, darbe özel-

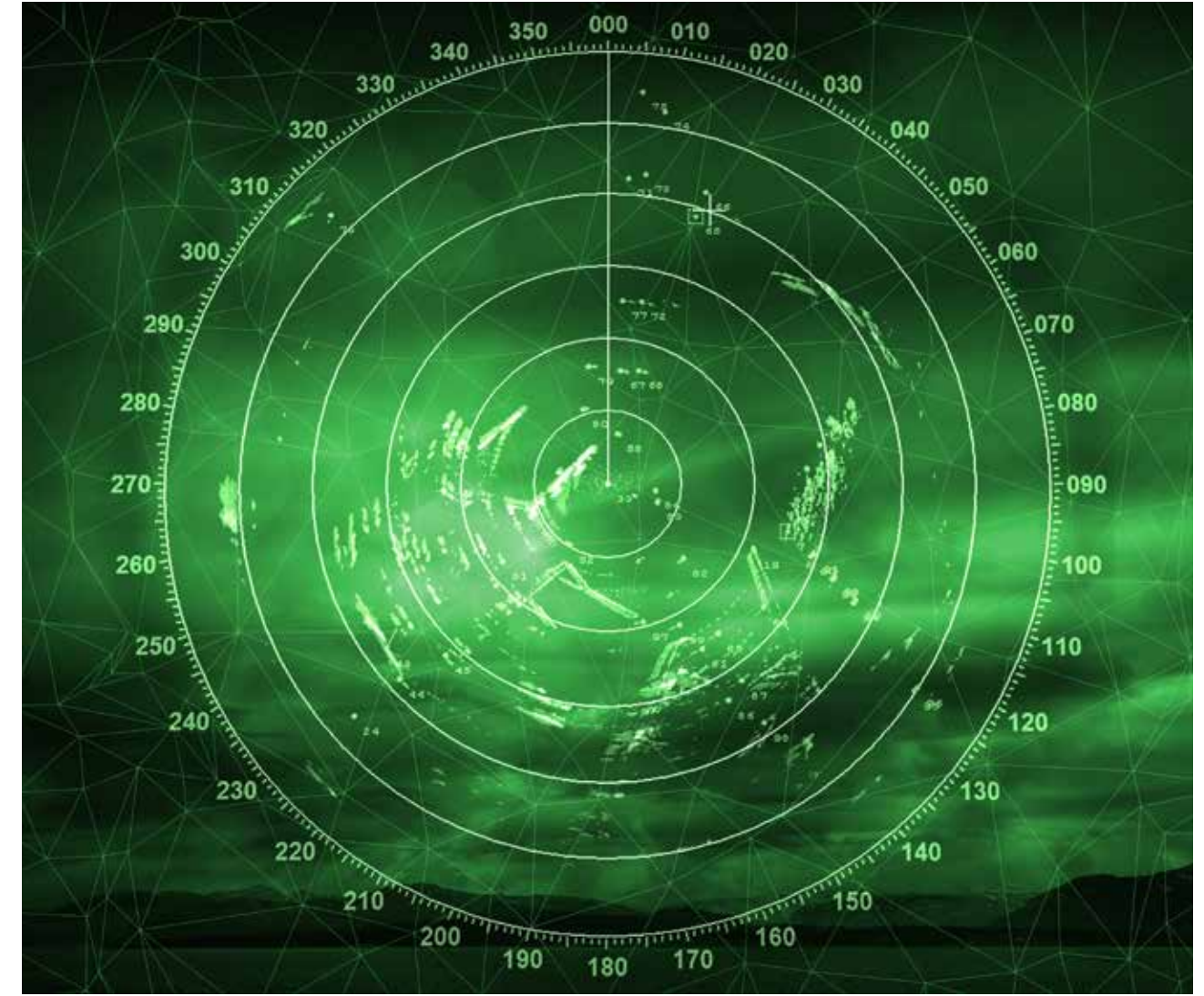
likleri, dalga şeklinin kullanımı ve kontrolü ile ilgilidir. Bu kapsamda Darbe Tekrarlama Aralığı (DTA, PRF, Pulse Repetition Frequency) değerleri ve tipi, frekans değerleri ve tipi, sinyalin niteliği değiştirilerek düşman tarafından uygulanan ET uygulamalarının etkisiz hale getirilmesi ve Elektronik Destek faaliyetlerinin zorlaştırılması amaçlanır. Vericide kullanılan başlıca Elektronik Korunma tedbirleri şu şekildedir:

- Elektronik Taarruz Sistemlerinin Etki Etmesi Zor Bir Bantta Yayın Yapılması,
- Frekans Atlaması,
- Frekans Çeşitliliği,
- Geniş Bir Yayın Bandının Kullanılması,
- Düşük DTA Değeri Kullanılması (HPRF darbe yapısı),
- DTA Çeşitliliği,
- Darbe İçi Modülasyon Uygulamak.

Alicıda Kullanılan EKKT Yöntemleri

Radar alıcılarında kullanılan EKKT yöntemlerinin amacı karıştırma yapan düşman unsurların radarı doyuma sokmasını engellemek ve radara gelen sinyallerin belirli bir mantık doğrultusunda radar tarafından işlenmesini sağlamaktır. Aksi bir senaryonun gerçekleşmesi hâlinde doyuma girmiş bir radarda hedeflerle ilgili bilgiler kaybolur, gönderilen her karıştırma yayını işleme alınırsa radar ve operatör aldatmaya uğrar. Alicıda kullanılan başlıca Elektronik Korunma tedbirleri şu şekildedir:

- Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC - Automatic Gain Control),
- Darbe Entegrasyonu,
- Hareketli Hedef Tespit Devresi (MTI - Moving Target Indicator),
- Doppler İşleme,
- Darbe Sıkıştırma,
- Hassasiyet Zaman Kontrolü (STC - Sensitivity Time Control),
- Logaritmik ve Doğrusal Alıcı.



Antende Kullanılan EKKT Yöntemleri

Anten birimi, radar ile çevre arasındaki ilk basamak olması nedeniyle düşman EH faaliyetlerinden korunmak için ön bastırıcı görevi üstlenmektedir. Antende kullanılan EKKT yöntemleri, ana lob ve yan lobların karakteristiği ve açılal ölçüm teknikleriyle ilgilidir. Bir radarda kullanılan anten biriminin düşük yan loblara sahip olması gibi özellikler sayesinde düşman EH sistemleri tarafından radarın tespitinin engellenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca radarın çalışma performansını etkilemek amacıyla yapılan karıştırma çalışmalarının bertaraf edilmesi için anten tasarımında kullanılan EKKT yöntemleri önemli bir rol oynar. Antende kullanılan başlıca EK tedbirleri şu şekildedir:

- Yan Lob İptali (SLC - Side Lobe Cancelling),
- Yan Lob Köreltme (SLB - Side Lobe Blanking),
- Anten Huzme Genişliğinin Dar Olması,
- Huzme Kontrolü,
- Çapraz Kutuplama İptali.

Sonuç

Radyo Dalgalarının keşfinden bu yana geçen sürede radar ve elektronik harp konsepti giderek büyümüş, ülkelerin taktik ve stratejik adımlarının belirlenmesinde kilometre taşı olarak kritik bir öneme sahip olmuştur. Özellikle son yıllarda dünya genelinde yaşanan sıcak çatışmalarda ve krizlerde elektronik harp unsurlarının önemi ortaya çıkmış; askeri alanlarda yapılan çalışmalar konvansiyonel silahlarla sınırlı kalmamış, elektronik harp alanında da büyük atılımlar yapılmıştır. Bu kapsamda elektronik harp faaliyetlerinin icra edilmesi açısından en önemli unsurlardan ikisi olan Elektronik Taarruz ve Elektronik Korunma konseptleriyle ilgili okuyucuya genel bir bilgi verilmiştir.

KRİPTOGRAFİK MODÜLLER İÇİN GÜVENLİK



Kriptografik Modül, anahtar oluşturma, yönetme, hassas bilgileri depolama ve ilgili kriptografik hizmetleri sağlama fonksiyonları ile kriptografik işlevsellik sağlar

Modern kriptografi, askeri ve devlet sırlarını koruma aracı olarak ortaya çıksa da günümüzde tüm insanları ilgilendiren bilgi ve iletişim ortamlarında kullanılmaktadır.

Güvenlik açıklarının artmasıyla birlikte bu tür sistemlere sahip olmanın önemi artmaktadır. Yüksek güvenlik gerektiren sistemlerdeki verilerin korunmasını sağlayan en önemli ürünlerden biri de Kriptografik Modüllerdir.

Kriptografik Modül, anahtar oluşturma, yönetme ve hassas bilgileri depolama fonksiyonları ile kriptografik işlevsellik sağlar. Bu tür ürünleri kullanan yaygın sistemler arasında güvenli kablosuz haberleşme cihazları, Sanal Özel Ağ (VPN) cihazları, internet tarayıcıları, şifreleme anahtarları (token) ve Açık Anahtar Altyapısını (PKI) destekleyen modüller bulunur.

Bu modüller yazılım modülleri olarak da uygulanabilmektedir. Donanım tabanlı kriptografik modüllerin en belirgin örneği Donanım Güvenlik Modülü (HSM)'dür. Kripto kütüphaneleri ise yazılım tabanlı ürünlere örnek olarak verilebilir.

Modüllerin otoriteler tarafından kabul edilmiş güvenlik standartlarına sahip olması gerekmektedir. Tam güvenlik garantisi edilemese bile uluslararası standartlara göre test edilmiş ve sertifikalandırılmış modüller güven vermektedir.

Değerlendirme ve sertifikasyon ihtiyacı bilgi sistemlerinin geliştiği 90'lı yıllarda ortaya çıkınca Amerika'daki Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), Kriptografik Modül Doğrulama Programı geliştirmeye başlamıştır. Bu programda referans alınan standartlar, Federal Bilgi İşlem Standardı (FIPS 140) olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde, FIPS 140'ın son sürümü olan FIPS 140-3, ABD ve Kanada'da Kriptografik Modül Doğrulama Programı (CMVP)

kapsamında güvenlik ve test gereksinimlerini tanımlayan en yeni ve ana standarttır. FIPS 140-3 için, modül gereksinimlerini doğrudan oluşturmak ve münhasır bir standart oluşturmak yerine, dünya çapında kabul gören eşdeğer standart olan ISO/IEC 19790 Kriptografik Modüller için Güvenlik Gereksinimleri standardı referans alınmaktadır. Amerika ve Kanada dışında kriptografik modüllerin güvenli kabul edilmesi için ISO/IEC 19790 Sertifikası istenmektedir.

ISO/IEC 19790 Kriptografik Modüller için Güvenlik Gereksinimleri standardındaki gereksinimlerin geliştirici dokümanlarındaki kontrolü ve modülde yapılması gereken testler ISO/IEC 24759 Kriptografik Modüller için Test Gereksinimleri standardında tanımlanmaktadır. ISO/IEC 19790'da, 4 güvenlik seviyesi ile 11 güvenlik gereksinim alanı bulunmaktadır. Gereksinimler; kritik verileri ifşa, değişiklik veya yetkisiz kullanımdan korumak, düzgün çalışma ve hata yönetimini sağlamak, algoritmaların ve rastgele sayı üreteçlerinin doğru uygulanmasını sağlamak için geliştirilmiştir. Kripto uygulamalarında, yalnızca yetkili kullanıcıların erişiminin sağlanması önemli bir konudur. ISO/IEC 19790 standardı Seviye 2'de rol ya da kimlik tabanlı kimlik doğrulama yeteriyken, Seviye 3'te kimlik tabanlı doğrulama mekanizmalarının uygulanması, Seviye 4'te ise çok faktörlü kimlik doğrulama gereklidir. Standart ayrıca özellikle ikinci güvenlik seviyesinin üstünde test edilen modüller için fiziksel güvenliğe de büyük önem vermektedir. Fiziksel güvenlik konusunda, kriptografik modüllerin tahrif etmeye karşı en azından kurcalama kanıtı, kurcalama yanıtı, kurcalama algılama ve kurcalamayı önleme özelliklerini sağlaması gerekir. Yüksek güvenlik seviye testlerinde modüllerin, bozucu olmayan kurcalama saldırılarını nasıl azalttığı veya yan kanal saldırılarına karşı hangi önlemleri aldığı test edilir. Geliştirilmesi daha kolay olan yazılımsal kriptografik modüller, genellikle donanım modüllerine göre daha fazla tercih edilir. Öte



yandan, yazılımsal kriptografik modülün çalışması sırasında hassas verilerin geçici olarak saklandığı bellek alanı, modülün kontrolü altında olmadığından, genel güvenlik seviyesi tam olarak garanti edilemez. Ayrıca, donanım modüllerinde olduğu gibi fiziksel koruma olmadığından uygulama kaynak kodunun bütünlüğü kolayca tahrif edilebilir. Yazılımsal modüllerde, tersine mühendislik tabanlı saldırılara karşı da önlemler artırılmalıdır. Güç dalgalanmalarını maskeleyen önlemlerin olmaması, bu modülleri güç analizi saldırılarına karşı daha duyarlı hale getirir. Son olarak işletim sisteminin güvenlik kusurlarının uygulamada da ortaya çıkması muhtemeldir. Bu sebeple, yazılımsal kriptografik modüllerin Genel Güvenlik Düzeyi, Seviye 2'yi geçemez.

Kriptografik Modüller, güvenlik gerektiren tüm ürün ve sistemler için uygun olan ISO/IEC 15408 Ortak Kriterler standardı kullanılarak da değerlendirilebilmektedir. Kriptografik modüllerin testleri için özel olarak oluşturulmuş yukarıdaki standartlardan dolayı Ortak Kriterler Sertifikasyonu nispeten daha az tercih edilmektedir.

Bu standartlar haricinde, finans işlemleri yapan kurumlar tarafından kullanılan modüllerin, Ödeme Kartları Sektörü Pin İşlem Güvenliği Donanım Güvenlik Modülü (PCI PTS HSM) standartlarına uyumlu olması gerekmektedir. PCI PTS HSM standardı, ödeme araçları ve finansal bilgileri işleyen tüm cihazlar arasında güvenlik gereksinimlerini zorunlu kılar. ISO/IEC 19790 ve FIPS 140 standartları ile uyumluluk, kullanım sırasında modüllerin fiziksel ve mantıksal olarak yüksek düzeyde korunmasını sağlarken, PCI PTS HSM ise tüm yaşam döngüsü boyunca gereken modüle özgü güvenlik gereksinimlerinin tanımlanmasını sağlar. PCI PTS HSM standardının gereksinimlerinin çoğu, üretim sürecinden ilk dağıtıma kadar olan aşamaları kapsayan ek gereksinimlerle birlikte FIPS standardından türetilmiştir. Uluslararası standartlar, teknolojiye en güncel değişik-

liklere ayak uydurmak ve periyodik zorunlu bir güncellemeden geçmek için çalışma grupları tarafından sürekli olarak yeniden incelenmekte ve değerlendirilmektedir.

Standartların yapısı, hassasiyeti düşük verilerden kritik anahtarlara ya da yüksek hacimli para transfer işlemlerine kadar çok çeşitli verilerin gerekli seviyede güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olur. Böyle bir çerçeve aynı zamanda geliştiricilere, ilgili modülün belirli güvenlik özellikleriyle uyumlu güvenlik garanti seviyesi seçimine de izin verir. Kriptografik modül geliştiricileri, ürünlerini akredite laboratuvarlarına gönderir. Test raporları doğrulama yetkilileri tarafından doğrulanır ve değerlendirme sürecinin başarılı olması durumunda sertifika verilir. Ülkemizde, yerli ve milli Kriptografik Modüllerin üretiminin yanı sıra testleri de yapılmaktadır.

BİLGEM OKTEM Laboratuvarı Ortak Kriterler alanında 20 yıllık tecrübesinin yanında 2016 yılında TS ISO/IEC 19790 Kriptografik Modüller için Güvenlik Gereksinimleri Testleri konusunda Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından lisanslanmıştır. OKTEM, Kriptografik Modüllerin bu standarda uygun olarak test edildiği ülkemizdeki tek laboratuvarıdır. Güvenlik Gereksinimleri testlerinden geçen modüller TSE'den uluslararası geçerliliği olan TS ISO/IEC 19790 uygunluk sertifikası almaktadır.

Kriptografik modüllerin uzun vadeli güvenliğini elde etmek söz konusu olduğunda, bu tür standart uyumluluklardan elde edilen güvenlik avantajları çok önemlidir. Bilgi güvenliğinin giderek daha çok önem kazandığı günümüzde hassas verileri koruyan ve işleyen kriptografik modüllerin güvenlik test ve analizlerinin yapılması hem geliştirici hem de modül kullanıcıları açısından kaçınılmaz olmaktadır.

AÇIK KAYNAK TEKNOLO- JİLERİ



Açık Kaynak Yazılım Teknolojileri Anketi, 8 Kasım 2021-19 Kasım 2021 tarihleri arasında ilgili Kamu kurum ve kuruluşları tarafından cevaplandırılmıştır.

TÜBİTAK BİLGEM YTE tarafından hazırlanan Açık Kaynak Yazılım Teknolojileri Ülke Analiz Raporu ülkemizdeki kamu kurum ve kuruluşlarında açık kaynak yazılım teknolojileri alanında mevcut teknoloji, strateji ve mevzuat ile organizasyonel birim ve çalışanlara yönelik bilgi toplamak amacıyla yapılan anketin analizi yer almaktadır. Anket, 8 Kasım 2021-19 Kasım 2021 tarihleri arasında resmi yazı ile 70 kamu kurum ve kuruluşuna elektronik ortamda iletilmiş ve 27 kamu kurum kuruluşu anketi cevaplamıştır. Anketin, 6 aylık periyotlarda tekrarlanması hedeflenmiştir. Ayrıca Avrupa Birliği tarafından; Açık Kaynak Kodlu Yazılım Teknolojileri konusunda Türkiye'deki aktörlere, politika ve stratejilere ve bu konudaki girişimlere yer verilen "Open Source Software Country Intelligent Report - Turkey 2021 raporuna doğru ve güncel bilgi sağlamak amaçlanmıştır. Açık Kaynak Teknolojileri Ülke Analiz Raporu Anketi'nde;



• Kurum Bilgi Teknolojileri envanterinde açık kaynak kodlu araçların mevcudiyeti ve bu mevcudiyet kapsamında;

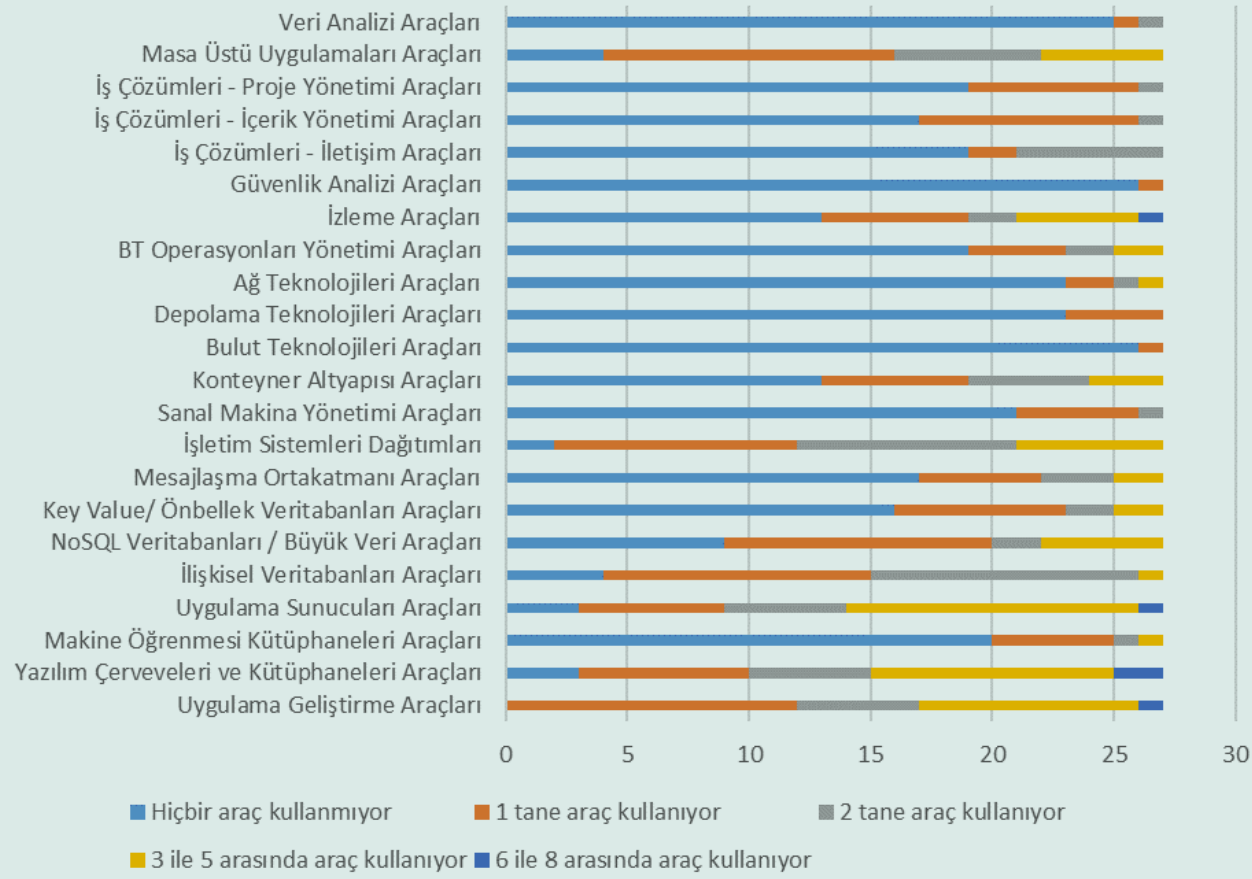
- Açık Kaynak Kodlu Uygulama Geliştirme Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Yazılım Çerçevesi ve Kütüphaneleri'nin,
- Açık Kaynak Kodlu Makine Öğrenmesi Kütüphaneleri'nin,
- Açık Kaynak Kodlu Uygulama Sunucuları Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu İlişkisel Veritabanları Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu NoSQL Veritabanları / Büyük Veri Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Key Value / Önbellek Veri Tabanları Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Mesajlaşma Ortakatmanı Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu İşletim Sistemleri Dağıtımları Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Sanal Makine Yönetimi Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Konteyner Altyapısı Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Bulut Teknolojileri Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Depolama Teknolojileri Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Ağ Teknolojileri Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu BT Operasyonları Yönetimi Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu İzleme Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Güvenlik Analizi Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu İş Çözümleri - İletişim Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu İş Çözümleri - İçerik Yönetimi Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu İş Çözümleri - Proje Yönetimi Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Masaüstü Uygulama Araçları'nın,
- Açık Kaynak Kodlu Veri Analizi Araçları'nın

kullanım bilgileri anket soruları içinde teknoloji bazlı olarak yer almıştır. Bu teknolojilerin mevcudiyeti sorulurken, listelenmeyen ancak kullanılan teknolojiler sorulmuş ve cevaplardan edinilen teknolojiler doğru kategorilerine göre sınıflandırılmıştır. Aşağıdaki sorular yöneltilmiştir:

- Kurumların stratejik planlarında, açık kaynak yazılım teknolojileri ile ilgili strateji, eylem ve mevzuatların mevcudiyeti,
- Açık kaynak yazılım teknolojileri ile ilgili strateji, eylem ve mevzuatların mevcudiyeti durumunda kapsamlarının içeriği,
- Kurum bazında açık kaynak kodlu araçlar ile ilgili yürütülen kapasite kazandırma çalışmaları,
- Kurumun ve kurum çalışanlarının var olan açık kaynak kod yönetim uygulaması (Github, Bitbucket vb.) hesap bilgileri,
- Kurumların veya kurum çalışanlarının, var ise, açık kaynak kodlu araçların kullanıldığı veya geliştirildiği bir projede gerçekleştirdiği çalışmalar,
- Kurumların açık kaynak yazılım teknolojileri alanında görev alan birim/bölüm ve çalışanlarının mevcudiyeti,
- Kurumlarda kullanılan yazılım teknolojilerinde açık kaynak kodlu araçlara geçişin planlanma durumu,
- Son olarak da kurumların açık kaynak yazılım teknolojileri alanında ülkemizde yürütülmesini bekledikleri çalışmalar hakkında fikirleri alınmıştır.

Ankette yöntem başlığı altında listelenen 22 adet açık kaynak kodlu aracın 27 kamu kurum ve kuruluşu tarafından kullanılan araç sayısı analiz edilmiştir.

Kurumlarda Kullanılan Araçlar ve Sayıları



Şekil 1: Kurumlarda Kullanılan Araçlar ve Sayıları

Çalışmanın devamında, Açık Kaynak Yazılım Teknolojileri Araçları'nın 27 kamu kurum ve kuruluşu tarafından, her kategori için kullanılan açık kaynak teknolojiler incelenmiştir. Aksi belirtilmediği sürece diğer seçeneği ile edinilen araç bilgisi yalnızca bir kurum tarafından kullanılmıştır. Bu kapsamda, Uygulama Geliştirme Araçları kategorisinde, Visual Studio Code 23 kurumda, Eclipse 15 kurumda, IntelliJ IDEA 8 kurumda, Sonarqube 7 kurumda ve Selenium aracı ise 7 kurumda kullanılmaktadır. Yanı sıra, ankette listelenmeyen ve diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 4 açık kaynak kodlu aracı (PyCharm, Harbor, Dependency Tracker, Apache Nifi) bulunmaktadır.

Yazılım Çerçeveleri ve Kütüphaneleri kategorisinde, Java Spring 13 kurumda, React JS 10 kurumda, Angular.js 9 kurumda, PHP Laravel 6 kurumda, Python Django 5 kurumda, Vue.js 5 kurumda, .Net Core 4 kurumda ve Flutter 3 kurumda kullanılmaktadır. PHP Symfony kullanan kurum bulunmamaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 11 açık kaynak kodlu aracı (Jquery, node.js, .NET, asp, ant.design, bizcharts.net, ckeditor, ckfinder, log4j, spring security, Angular2+) bulunmaktadır.

Makine Öğrenmesi Kütüphaneleri kategorisinde, TensorFlow 7 kurumda, PyTorch 1 kurumdada ve OpenCV 1 kurumda kullanılmaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (scikit-learn) bulunmaktadır. Uygulama Sunucuları Araçları kategorisinde, NGINX 20 kurumda, Apache Tomcat 10 kurumda, Apache2 7 kurumda, HAProxy 6 kurumda, Glassfish 3 kurumda, ve Wildfly 1 kurumda kullanılmaktadır.

İlişkisel Veritabanları Araçları kategorisinde, PostgreSQL 22 kurumda ve Mysql, Mariadb, Percona Server 13 kurumda kullanılmaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (Firebase) bulunmaktadır.

NoSQL Veritabanları/Büyük Veri Araçları kategorisinde, MongoDB 12 kurumda, Elasticsearch 12 kurumda, Hadoop 4 kurumda, Cassandra 3 kurumda, Hbase 2 kurumda ve Couchbase 1 kurumda kullanılmaktadır. Neo4j kullanan kurum bulunmamaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (Apache Solr) bulunmaktadır.

Key Value/Önbellek Veritabanları Araçları kategorisinde, Redis 10 kurumda, Consul 3 kurumda, Memcache 2 kurumda ve Etc2 2 kurumda kullanılmaktadır.

Mesajlaşma Ortakatmanı Araçları kategorisinde, RabbitMQ 8 kurumda, Kafka 6 kurumda ve ActiveMQ 3 kurumda kullanılmaktadır.

İşletim Sistemleri Dağıtımları kategorisinde, Ubuntu 20 kurumda, RHEL 10 kurumda, Debian 8 kurumda, FreeBSD 3 kurumda ve OpenSUSE 1 kurumda kullanılmaktadır.

Sanal Makine Yönetimi Araçları kategorisinde, Proxmox 4 kurumda, KVM 1 kurumda ve Xen 1 kurumda kullanılmaktadır. Bhyve kullanan kurum bulunmamaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (kubvirt) bulunmaktadır.

Konteyner Altyapısı Araçları kategorisinde, Kubernetes 11 kurumda, Docker 11 kurumda, Rancher 1 kurumda ve LXC/LXD 1 kurumda kullanılmaktadır.

Bulut Teknolojileri Araçları kategorisinde, Openstack 1 kurumda bulunmamaktadır.

Depolama Teknolojileri Araçları kategorisinde, Ceph 4 kurumda bulunmamaktadır. Ankette seçenek olarak sunulan DRBD, Openzfs, Lustre ve Glusterfs araçlarını kullanan kurum bulunmamaktadır.

Ağ Teknolojileri Araçları kategorisinde, OpenvSwitch 2 kurumda ve PfSense 2 kurumda bulunmamaktadır. Ankette seçenek olarak sunulan Openfv, Onap, PacketFence, Untangle Firewall, OPNsense Firewall, IPFire, IPCop Firewall, Shorewall, SmoothWall, Endian ve ClearOS araçlarını kullanan kurum bulunmamaktadır. Ankette listelenmeyen ve diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 3 açık kaynak kodlu aracı (putty, securecr, cilium) bulunmaktadır.

BT Operasyonları Yönetimi Araçları kategorisinde, Ansible 6 kurumda, Jenkins 6 kurumda ve Juju 1 kurumda bulunmamaktadır. Ankette seçenek olarak sunulan Puppet, Chef ve Saltstack araçlarını kullanan kurum bulunmamaktadır.

İzleme Araçları kategorisinde, Grafana 7 kurumda, Zabbix 6 kurumda, Prometheus 6 kurumda, Elasticsearch 5 kurumda, Syslog-Ng 3 kurumda, Nagios 2 kurumda, Cacti 2 kurumda, Graylog 2 kurumda ve Fluentd 2 kurumda bulunmaktadır. Ankette seçenek olarak sunulan Icinga aracını kullanan kurum bulunmamaktadır.

Güvenlik Analizi Araçları kategorisinde, Security Onion, Wazuh, Ossim/Ossec ve Tripwire araçlarını kullanan kurum bulunmamaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (istio) bulunmaktadır.

İş Çözümleri - İletişim Araçları kategorisinde, Jitsi 7 kurumda, Rocketchat 5 kurumda ve Zimbra 2 kurumda bulunmaktadır.

İş Çözümleri - İçerik Yönetimi Araçları kategorisinde, Wordpress 8 kurumda, Drupal 1 kurumda ve Moodle 1 kurumda bulunmamaktadır. Joomla aracını kullanan kurum bulunmamaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (Ipam) bulunmaktadır.

İş Çözümleri - Proje Yönetimi Araçları kategorisinde, Redmine 6 kurumda bulunmamaktadır. Diğer seçeneği ile bilgisine erişilen 1 açık kaynak kodlu aracı (GITLAB) bulunmaktadır. GITLAB, 3 farklı kurum tarafından kullanılmaktadır. Masa Üstü Uygulamaları Araçları kategorisinde, Firefox 20 kurumda, Chromium 13 kurumda, Libre Office 5 kurumda ve Open Office 2 kurumda bulunmamaktadır.

Veri Analizi Araçları kategorisinde, Metabase 2 kurumda ve Pentaho 1 kurumda bulunmamaktadır.

Diğer Anket Bulguları

- 27 kamu kurum ve kuruluşunun, ilgili teknoloji kategorisi bazında açık kaynak yazılım teknoloji kullanım sayısı en yüksek 3 kategori: 66 kullanım ile Yazılım Çerçeveleri ve Kütüphaneleri, 64 kullanım ile Uygulama Geliştirme Araçları ve 57 kullanım ile Uygulama Sunucuları Araçları'dır.

- 27 kamu kurum ve kuruluşunun ilgili teknoloji kategorisi bazında açık kaynak yazılım teknoloji kullanım sayısı en düşük 3 kategori: 1 kullanım ile Bulut Teknolojileri Araçları,

1 kullanım ile Güvenlik Analizi Araçları ve 3 kullanım ile Veri Analizi Araçları'dır.

- 27 kamu kurum ve kuruluşunun anket kapsamındaki tüm açık kaynak kodlu araçlarından en fazla kullandığı araçlar ve bu araçların bulunduğu kategoriler, 23 kullanım ile Visual Studio Code (Uygulama Geliştirme Aracı), 22 kullanım ile PostgreSQL (İlişkisel Veritabanları Aracı), 20 kullanım ile Nginx (Uygulama Sunucuları Aracı), 20 kullanım ile Apache Tomcat (Uygulama Sunucuları Aracı), 20 kullanım ile Ubuntu (İşletim Sistemleri Dağıtımı) ve 20 kullanım ile Firefox (Masa Üstü Uygulamaları Aracı) olarak tespit edilmiştir.

- Anket kapsamındaki beyanlar ile kurumlarda açık kaynak teknolojisi ile ilgili kurumlarda uygulanan kapasite kazandırma çalışmalarının pilot çalışmalar ve eğitimlerle desteklendiği gözlemlenmiştir.

- 27 kamu kurum ve kuruluşundan 6 kurum depolama servisi aracı, 1 kurum ağ depolama servisi aracı, 1 kurum depo yönetimi uygulaması aracı ve 1 kurum hem depo yönetimi uygulaması aracı hem de versiyonlama sistemi aracı kullanmaktadır.

- Açık kaynak yazılım teknolojileri kapsamındaki çalışmaların kurumların bilişim sistemleri birimlerinde yürütüldüğü belirtilmiştir. 27 kamu kurum ve kuruluşundan 8 kurumda açık kaynak yazılım teknolojileri alanında görev alan birim/bölüm ve çalışanlar bulunmaktadır. Açık kaynak yazılım teknolojileri alanında görev alan birim/bölüm ve çalışanlara sahip 8 kamu kurum ve kuruluşundan 6 kurum ekip seviyesinde çalışmalar yaparken, 2 kurum henüz personel bazında çalışmalar yapmaktadır. Anket kapsamında açık kaynak teknolojiler özelinde bölüm oluşturulmadığı ancak, ekip seviyesinde çalışma yapan 6 kurumun teşkilatlanma seviyesinde etkinlik gösterdikleri tespit edilmiştir.



- Açık kaynak yazılım teknolojileri kullanımı ile ilgili kurumlarda bulunan planlarla ilgili farklı görüşler yer almaktadır. Kurum planlarında açık kaynak teknolojileri kullanımını içeren kurumlar, öncelikle teknoloji bazlı kısıtlar ile pilot çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu pilot uygulamalar, belirlenmiş bir altyapı ya da yazılım geliştirme projesi kapsamında gerçekleştirilmektedir. Yanı sıra, Bilgi Teknolojileri stratejisi olarak açık kaynak yazılım teknolojileri kullanımını teşvik eden kurumlar da bulunmaktadır. Açık kaynak yazılım teknolojilerinin kurum bazında kullanımında çekimser olan kurumlar ise güvenlik açıklılıkları ile ilgili endişeleri olduğunu belirtmişlerdir.

- 27 kamu kurum ve kuruluşunun açık kaynak yazılım teknolojileri kapsamında ülkemizden beklentisi belli başlıklar altında toplanmıştır. Ülkemizde açık kaynak yazılım teknolojilerinin kullanımı için teşvikler ve eğitimler ile farkındalığın artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Veritabanı, güvenlik araçları, kurum içi ve kurumlar arası iletişim, bulut mimarileri, veri analizi ve işletim sistemi kapsamında ülkemizde çalışmaların yapılmasının talep edildiği tespit edilmiştir.

Kamu Açık Kaynak Teknolojileri Kullanım Anketi sonucunda pek çok kamu kurum ve kuruluşunda açık kaynak kodlu araçların bilişim organizasyonlarında görevli çalışanların tercihleri doğrultusunda kullanıldığı değerlendirilmektedir. Bu noktada açık kaynak kodlu araçların kullanımının yaygınlaştırılması, bu alanda ülkemizde yetişmiş insan gücü kaynağının oluşturulması ve yetkinliklerin artırılması amacıyla ulusal düzeyde strateji ve politikalar ile açık kaynak kodlu araçların kullanımının desteklerinin artırılması önemli bir politika olarak benimsenmesi önerilmektedir. Yanı sıra açık kaynak yazılım teknolojileri alanında kamuda görevli çalışanları kendi yetkinlikleri kapsamında tecrübelerini aktaracakları bir ekosistemin oluşturulması, bu araçlara olan ilginin ve güvenin artmasında ve araçların kullanım rahatlığı hususlarında fayda sağlayacaktır.

NE KADAR MEDENİYİZ?



TÜİK tarafından Şubat ayı başında yayınlanan Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi verilerine göre Türkiye nüfusunun % 93'ü il ve ilçe merkezlerinde, bir diğer ifadeyle şehirlerde yaşıyor. Bu orana dair önemli bir noktaya dikkat çekmekte fayda var. 31 Aralık 2021 itibariyle 84,680,273 olarak açıklanan toplam nüfusumuzun 66,092,128'i 30 büyükşehirde yaşamakta ve büyükşehir statüsündeki illere bağlı belde ve köyler mahalle statüsüne geçtiği için kırsal nüfus kapsamının dışında tutulmaktadır. Dolayısıyla % 93 oranı tam olarak gerçeği yansıtmamakla birlikte, ülke nüfusunun en az % 80'inin il ve ilçelerde yaşadığını varsayabiliriz. Daha 1980'li yıllara kadar bu oran % 50'nin altındaydı (1980'de % 44) ve nüfusun çoğunluğu köy ve beldelerde yaşamaktaydı. Biraz daha geriye gittiğimizde ise, örneğin 1950'de Türkiye nüfusunun sadece % 25'inin şehirlerde yaşadığını görmekteyiz. Bu verilerden hareketle, Türkiye'nin yakın bir geçmişe kadar köylü ya da bir tarım toplumu olduğunu söyleyebiliriz.

Göç ve Toplumsal Dönüşüm

1980'lerin ortasından itibaren bu tablonun hızla değişerek bugünkü duruma gelmemizin arkasında elbette birçok sosyo-ekonomik sebep var. Şehir nüfusunun bu derece hızlı büyümesi, şehirlerde yaşayan nüfusun doğal artışından ziyade elbette köylerden kentlere yoğun bir göçle açıklanacak bir durum. Başta iş olmak üzere, eğitim, sosyal ihtiyaçlar vb. birçok nedene bağlı olarak gerçekleşen göçün hız kesmeden devam ettiğini hesap edersek, yakın gelecekte şehirlerde yaşayan nüfus oranının gerçekte de % 90'ı aşması uzak bir ihtimal değil.

İstanbul başta olmak üzere büyük şehirlere doğru yaşanan göç, şehirleri birçok anlamda dönüştürmüştür. Geçmişte popülist gerekçelerle göz yumulması ve şehre gelen köylü nüfusun yerleşimiyle ilgili doğru ve sağlıklı planlamalar yapılamaması sebebiyle, büyük şehirlerimiz gece-

kondularla ve çarpık yapılarla dört bir yandan çepeçevre kuşatılarak çirkinleştirilmiştir. Sosyo-kültürel açıdan bakıtığımızda da büyük sorunlar yaşanmış, şehre göç eden kırsal kökenli nüfus; kendi kültürü, yaşam tarzı ve alışkanlıkları ile şehir hayatının şartları arasındaki derin uçurum karşısında bocalamış; yeni hayata kolay intibak edenler olduğu gibi, büyük çoğunluk şehrin kenar mahallerinde bir nevi köy hayatı yaşamaya devam etmiştir.

Şehre gelirken önceliği iş bulup, para kazanarak ailesinin geçimini temin etmek, ya da en hızlı yoldan zengin olarak belki bir gün memleketine geri dönmek olan bu kitlelerin, şehirle ve şehirliliyle ilişkisi haliyle büyük oranda maddi boyutta gerçekleşti. Böyle olunca, kültürel manada şehirlilik olmak, kendini her açıdan geliştirmek, hep geri planda kaldı. Uzun lafın kısısı, bu süreçte ne tam köylü ne de tam şehirlilik olarak tarif edemeyeceğimiz tipler türedi. Tıpkı Türk toplumunun artık ne tam Doğulu ne de tam Batılı olamayışı gibi bir kimlik karmaşasıydı yaşanan...

Şehrin demografik yapısındaki bu değişim neticesinde, gerçek manada şehirlilerin sayısı azaldı ve sesleri daha az duyuldu. Atadan ve dededen şehirlilik olanların yeni nesilleri de, bu olumsuzluktan etkilenerek ideal ölçekte şehirlilik biley vasıflarını kaybettiler. Eskiden şehirlilik insan dediğimizde zihnimizde; bilgili, görgülü, edep, adap ve erkan bilen, nezaket sahibi, insan ilişkilerinde saygı ve seviyeyi korumayı bilen, çevresinde saygınlık oluşturan, okuyup yazan, çevresini ve dünyayı tanıyan, düzgün konuşan, dili güzel kullanan, genel kültür seviyesi yüksek, sanat ve estetikten anlayan, giyimi kuşamı düzgün, ince zevklere sahip, ince ruhlu bir insan canlanırdı. Örneğin, artık yavaş yavaş unuttuğumuz (ve soyları tükenmekte olan) İstanbul beyefendisi ya da İstanbul hanımefendisi gibi tanımlamalar tam da bu özelliklere sahip kişileri tarif ederdi.

Şehir ve Medeniyet

"Şehir nedir?" diye sorsak; insanımızın çoğu büyük ihtimalle modern ve gösterişli binalarla, geniş caddelerle ya da alışveriş merkezleriyle tarif etmeye çalışacaktır şehri. Evet, şehirler bunları ihtiva eder fakat bir şehri şehir yapan asıl ve temel değerler kültürel ve tarihi birikimi, onu diğerlerinden farklılaştıran mimari ve sanatsal zenginliği, başka şehirlerde rastlanmayacak kendine has diğer ayırt edici özellikleri ve belki de hepsinden önemlisi tüm bunları bir kimlik olarak benimsemiş ve bunlarla özdeşleşmiş insan topluluğudur.

Şimdi şu soruları kendimize soralım ve samimi olarak cevap vermeye çalışalım: Mesela İstanbul'u baz alırsak, acaba bu şehir üzerinde yaşamakta olan yaklaşık 15 milyon insandan kaçını yukarıda tarif ettiğimiz vasıfları taşımakta-

dır? Kaçı bu şehri yeteri kadar tanımakta ve kaçını bu şehrin tarihinden haberdardır? Kaçı İstanbulluluğun ne demek olduğunu bilmekte ve kaçını bu şehri benimseyerek kendini gerçek manada İstanbullu olarak kabul etmektedir? Bu soruların cevaplarını kestirmek sanıyorum ki çok zor değil. Maalesef, yaşayan nüfusun çoğunluğu yaşadığı şehre, bu şehrin kültürüne ve ruhuna yabancı!

Şehirli olmayı, lüks ve konforlu evlerde yaşamak, lüks arabalara binmek ve lüks bir yaşam sürmek olarak algılayan, hayatın gayesini de bunlara sahip olmak olarak gören insan güruhunun, kendini her alanda geliştirerek kültürel manada şehirli olması beklenebilir mi? Elbette beklenebilir. Bu yüzden de böylelerine şehirli değil, gösteriş meraklısı "sonradan görme" denir.

"Medine" kelimesi Arapça şehir anlamına gelir. "Medeni" kelimesi de Medine kelimesiyle aynı kökten türemiştir. Yani şehirli demek medeni demektir. Bir başka ifadeyle şehir, bünyesinde medeni insanları barındıran ve medeniyet inşa eden yerdir.

"Medeni" kavramından yola çıkarsak, acaba bu kavramın içini doldurabilecek kalitede insan yetiştirebiliyor muyuz? Trafikte, toplu taşıma araçlarında, işyerlerinde, okullarda ve diğer kamusal alanlarda, birbirine saygısı ve tahammülü olmayan, bir diğerinin hak ve hukukuna riayet etmeyen, elinden gelse birbirini bir kaşık suda boğacak, egoist ve çıkarıcı bireylerin, ortak bir kültür oluşturmaları, ortak değerler geliştirmeleri ve bu değerleri ortak bir kimliğe dönüştürerek onunla özdeşleşmeleri mümkün olabilir mi? Tamamen maddiyat odaklı, okumayan, araştırmayan, sorgulamayan, yaşadığı toplumdan ve dünyadan bihaber, çevre, sanat ve estetik bilinci gelişmemiş bireylere medeni diyebilir miyiz?

Yıllardır İstanbul'da yaşadığı halde, bir yabancı turist kadar Ayasofya'yı, Süleymaniye'yi veya bir başka tarihi yapıyı gezme/görme ihtiyacı hissetmemiş, yaşadığı şehirle ilgili tarih bilgisi 1453'ün ötesine geçmeyen; buna karşın AVM'lerde günlerini tüketen, televizyon başına geçip saatlerce beyinlerini çürütürük tüm dizilerin seçere çıkarılan tipleri İstanbullu, şehirlilik ya da medeni olarak kabul edebilir miyiz?

Yukarıdaki serzenişlerimizin gayesi şehirliliği yüceltip, köylülüğü aşağılamak değil elbette. Meramımız, şehre gelip, şehrin tüm imkanlarından faydalandığı halde, şehre hiçbir katkı yapmayan, katkı yapmadığı gibi şehrin kültürel kimliğini tahrip eden, şehrin ruhuyla kendini bir türlü özdeşleştiremeyen ve diğer taraftan kendi değerlerine de yabancılaşmış sonradan görme, bencil ve çıkarıcı tiplerin sebep olduğu yozlaşmaya/kirlenmeye dikkat çekmektir. Sürç-i lisan ettiyse affola!

Röportaj: Mehmet S.Ekinci-Başuzman / BİLGEM KKYBY



Muzaffer Kiraz

“İYİ Kİ AR-GE’Cİ OLMUŞUM”

Her sayımızda bir çalışma arkadaşımızla röportaj gerçekleştirip kendisini yakından tanımaya çalışıyoruz. Bu sayıda Kurumumuzda 20 yılı aşkın süre araştırmacı ve yönetici olarak çalıştıktan sonra bu yıl içerisinde emekliye ayrılan Sayın Muzaffer Kiraz Bey ile bir röportaj gerçekleştirdik. Muzaffer Hocamız, kişisel tecrübesi doğrultusunda Kurumumuzda geçirdiği süreyi anlattı...

• Sayın Hocam, Kurumumuzun geçmişini en iyi bilen kişilerden birisi olarak çalışma arkadaşlarımız için yaşadığınız zorluklardan ve çözüm yollarınızdan örnekler verebilir misiniz?

Elektronik ve bilgisayar alanında hızlı teknolojik gelişimin başlarına yetiştirmiş geçiş neslinin bir ferdi olarak öncelikle Ar-Ge geçmişime ait bir tarihsel bilgi vererek başlamak isterim.

TÜBİTAK'ta 2002 yılı Ocak ayında işe başladım. Şu an itibarıyla 20 yılı tamamlamış durumdayım. Daha öncesinde de 2 yıl üniversitede Araştırma Görevlisi olarak, ardından döneminin haberleşme teknolojileri alanında araştırma / geliştirme yapan en büyük özel firmalardan biri olan TELETAS'ta 16 yıl çalıştım. Toplamda 40 yılı bulan çalışma hayatımın tamamı araştırma / geliştirme alanında oldu. Ar-Ge işi yurtdışında çok iyi tanımlıdır. Bizde ise son dönemlerde biraz düzelmiş olmasına rağmen 80'li 90'lı yıllarda sınırları belirsizdi. Yeni kurulmuş büyük firmalar yabancı firmalardan teknoloji transferi yapılarak elektronik / haberleşme alanında yerli üretim yapıyorlardı, ancak o devirde Ar-Ge'nin görevi üretim - test dokümanlarını dönüştürme, üretime malzeme listeleri hazırlama, alternatif çözümleri test etme gibi konulardan öteye gitmiyordu. İhtiyaç duyuldukça bazı basit devre tasarımları ile yerleştirme çalışmaları yapılabiliyordu. 80'li yılların başında Ar-

Ge nerede başlar, nerede biter, Ar-Ge elemanı nelerden sorumludur, yaptığı tasarım çıktılarının üretime hazırlanması hangi aşamaları içerir, üretime hazırlama işi kimindir, üretim sırasında ne gibi geri dönüşler olur belirli değildir. Bütün bunların çoğunu bizim nesil deneyimleyerek öğrendi. Bu tecrübeyi yaklaşık 5 yılda elde ettik. 5 yıldan sonra profesyonel anlamda cihazlar tasarlayıp prototip hazırlamayı ve üretime aktarma işini kavradık. 90'lı yıllar TELETAS'ta her türlü haberleşme cihazının hızlı bir biçimde tasarlanıp üretildiği parlak yıllardı. Ne üretseniz satabiliyordunuz. Bu parlak dönem fazla uzun sürmedi maalesef. ALCATEL'in TELETAS'ı satın almasıyla Ar-Ge faaliyetleri peyderpey yavaşlatıldı, en sonunda tamamen durduruldu. Biz de ekip olarak TELETAS'tan ayrılmak zorunda kaldık.

Bu şekilde elde ettiğimiz tecrübeyi TELETAS'tan ayrıldıgımız yıl kendi şirketimizi kurarak kullanmak istedik. Ancak ortamın uygun olmaması nedeniyle bunu yürütemedik. 2002 yılı başında o dönem UEKAE müdürü olan Sn. Önder YETİŞ'in davetiyle TELETAS'tan ayrılan 5 kişilik çekirdek RF'çiler olarak ben, Feyzullah YAYIL, Hüseyin BALCI, Metin ERDOĞDU ve İbrahim AVCI, TÜBİTAK UEKAE'de işe başladık. Kurum hikayemiz bu şekilde başlamış oldu. Bu grup 20 yıl içerisinde çok RF'çi yetiştirdi, çok proje yaptı. Halen de eksiksiz olarak devam ediyoruz çalışmaya. TÜBİTAK BİLGEM'in sistem olarak ilk teknoloji transferini SRC155A adlı radyo link ürünüyle bu grup yaptı...

Kurumda ilk işe başladığımızda bizim çalışma alanımızla, yani RF tasarımıyla ilgili herhangi bir Ar-Ge faaliyeti yoktu. Kurumun RF ölçme laboratuvarları ve personeli vardı sadece. Önder Bey bizi TELETAS'tan tanıyor ve bize güveniyordu. Kurumda ne iş yapacağımızı sorduğumuzda “TELETAS'ta yaptığınız işlere aynı şekilde devam edin, biz de zaten bu konulara girmeyi hedefliyorduk” demişti. Hangi özelliklerde bir ürün yapacağımıza karar verip hemen radyo link tasarımı işine koyulduk. Birkaç ay içerisinde satın almalar çıkıldı, gerekli elektronik malzemeler ve en önemlisi de spektrum analizörü, network analizörü, osiloskop gibi bizim elimiz ayağımız olan ölçü aletleri çok hızlı biçimde satın alındı. Biz de bu sürede en iyi yaptığımız radyo link tasarımı işlerini tamamladık. Sadece 6 ay gibi kısa bir zaman içerisinde TÜBİTAK'ın yerli ve milli tasarımı olan SRL5800A adlı 4*2 Mbps kapasiteli, Spread Spectrum-CCK modülasyonlu radyo link cihazının prototipini masaya koyduk.

Bunu şunun için anlattım; tasarım grubu teknik olarak tecrübeliyse, sağlamsa, kendi içerisinde uyumluysa ve yönetim de her türlü desteğiyle arkasındaysa başarılamayacak bir iş yoktur bana göre. Grubun iç uyumu çok önemli. Bireysel başarı Ar-Ge türü işler için tek başına yeterli değil. On tane çok başarılı adamı bir araya getirseniz bile, grup uyumu iyi değilse ve bu yüzden işler iyi bir şekilde tanımlanmıyorsa düzgün sonuç almanız zordur. Dişli çarklardan meydana gelen bir vites kutusu gibi, her bir dişlinin görevini tam ve düzgün yapması o vites kutusunun düzgün çalışmasını sağlar. Ar-Ge işlerini de böyle

düşünüyorum. Tasarımcı arkadaşlar bir sıkıntı ortaya çıktığında genellikle konuya şöyle yaklaşıyorlar: “Benim tasarımı mükemmel... Denedim, iyi çalışıyor. Sorun varsa benden kaynaklanmıyor, diğer taraflarda sorun olmalı”. Bu konuda haklı bile olsanız doğru yaklaşım şöyle olmalı: “Evet, benim devrelerim, kartım veya yazılımım düzgün çalışıyor, ancak sistemin bütününde bir sıkıntı var, kararlı çalışmıyor. Bu konuda ben de bir şeyler yapmalıyım. En azından sorunun nereden ve nasıl kaynaklandığını bulmaya yardımcı olmalıyım”. Bu şekilde organize olan uyumlu tasarım grubu sorunu tespit eder sonra da mutlaka çözer. Çözüm için zaten onlarca seçenek çıkar ortaya. En uygun olanı hep birlikte seçersiniz olur biter.

• Muzaffer Bey, geçmişe baktığınızda şunları iyi ki yapmışız güzel oldu dediğiniz şeyler nelerdir? Fakat şunu yapamadık, kısmet olmadı, yapabilseydik ne güzel olurdu diyeceğiniz şeyler var mıdır?

İyi ki Ar-Ge'ci olmuşum diyorum her zaman. Mühendislik yapmak isteyen, hamurunda mühendislik mayası olan herkese de Ar-Ge işi tavsiye ediyorum. Belki diğer alanlara göre kariyer olarak yükselmek, daha fazla maddi imkânlar elde etmek için uygun bir alan değildir, bilemem. Ama Ar-Ge'ci olarak bir şeyleri ilk defa yapmış olmanın verdiği hazı, keyfi hiç bir şey veremez. Biz 80'li yılların başında mühendisliğe başlayanlar olarak şanslı bir nesil derim hep. O yıllarda cep telefonunu bırakın, ev telefonu bile her evde yoktu. Telefon alabilmek için PTT'ye başvuru yapılırdı ve yıllarca sıra beklenirdi. TELETAS ve NETAS'ın kurulması ve çok hızlı bir şekilde piyasaya ürün - sistem vermeleri sonucunda bu bariyer kırıldı, birkaç yıl içerisinde isteyen herkes evine telefon bağlattı. Her sokak başına jetonlu telefon makineleri yerleştirildi. Bizler de TELETAS'ın Radyo Grubu olarak yerli radyo link tasarımı işlerine giriştik. Çok teknik zorluklarla karşılaştık. Şimdi çok basit olarak çözülen bazı teknik zorluklarla ilk defa karşılaşıyorduk. Aylarca 10-15 MHz'lerde 2V darbe üretebilecek transistörlü yükselteç devresi ile uğraştığımızı hatırlıyorum.

Çalışma hayatımda en çok mutlu olduğum şey Ar-Ge'ci olmam. Diğeri, 1980'li yılların sonuna doğru Türkiye'nin ilk yerli ve milli radyo link cihazını tasarlayan radyo link tasarım grubunun bir üyesi olmak. TÜBİTAK döneminde ise yine bir ilke imza attık grup olarak, Türkiye'nin ilk yerli RADAR'ını ürettik. Bu alana girmeye çekiniyorduk ilk zamanlarda, acaba başarabilir miyiz? diye. Ancak sağ olsun UEKAE Müdür Yardımcımız Sn. Alparslan BABAOĞLU bizi bu konuda çok destekledi. 2005-2006 yıllarıydı, o dönemde MİLGEM için yerli radar yapılması talep ediliyordu. Biz de elimizdeki imkânlarla yapılabilecek en uygun radarı (LPI-FMCW) seçip tasarıma başladık, prototipi çalıştırdık. UEKAE eski binasının çatısına kurulan prototip radar ilk görüntüleri alıp ekranda gösterdiğinde çok şaşırmıştık. Adeta İzmit körfezinin haritasını canlı olarak ekranda görüyorduk.



Muzaffer KIRAZ

1960 yılında Uşak'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Uşak'ta tamamladı. 1977 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. 1982 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 1983 yılı başı itibarıyla da Elektrik Elektronik Fakültesi Yüksek Frekans Tekniği kürsüsünde Araştırma Görevlisi olarak işe başladı. 1984 yılı Mart ayında yüksek lisansını tamamladıktan sonra, 1985 Ağustos ayına kadar yedek subay olarak askerlik görevini yerine getirdi. 1985 Ağustos ayında TELETAS (ALCATEL) şirketinde ARGE departmanında donanım geliştirme mühendisi olarak işe başladı. Burada onlarca farklı projede donanım geliştirme mühendisi, sistem mühendisi ve proje yöneticisi olarak görev yaptı. 2001 yılı sonunda ALCATEL ARGE departmanı kapatılınca arkadaşlarıyla birlikte bir şirkete ortak oldu. Kısa sürede kendi işini yapma fikrini yerinde bulmayarak şirket ortaklığından ayrıldı. 2001 yılı Ocak ayında UEKAE'de işe başladı. 2017 yılı Ekim ayına kadar çoğu radyo link alanında onlarca projede donanım geliştirme sorumlusu ve proje yöneticisi olarak görev yaptı. 2017 yılı Ekim ayında BTE Radar ve Sensör Sistemleri Enstitü Müdür Yardımcısı oldu. Bu görevi 4 yıl süreyle yerine getirdikten sonra 2021 Ekim ayı içerisinde kendi isteğiyle bıraktı. Halen BTE'de Kıdemli Başuzman Araştırmacı olarak görev yapmaktadır. Muzaffer Kiraz, evli ve 3 çocuk babasıdır.

Bu gerçekten çok büyük bir olaydı ülkemiz için. Milli imkânlarla bir radarın yapılabileceğini göstermiştik. Maalesef bu radarın ürün haline getirip satamadık. Bunda burada değinmek istemediğim bazı sebepler var. Bu bizim için üzüntü verici bir durumdu. Ancak şu anda baktığımızda yine de seviniyoruz; çünkü bu ürünün ortaya çıkmış olması Türkiye'de yerli milli radarın miladı oldu. Daha sonra ASELSAN ve diğer firmalar yerli radar tasarımına başladılar. Biz BİLGEM olarak KUŞRAD, MGR ve FODRAD radarlarıyla sivil havacılık radarları alanına yöneldik. Bu alanda oldukça iyi duruma geldik son yıllarda.

Şunu da yapabiliydik iyi olurdu dediğim çok şeyler var elbette. Ama her şeyi de yapmanız mümkün olmuyor. Yıllar gelip geçiyor, yaşlandıkça yeni teknik konulardan istemez uzaklaşıyorsunuz.

• Hocam, sizce iyi bir araştırmacı profili nasıldır?

Herkesin bir görüşü var bu konuda. Benim de yıllar içerisinde edindiğim tecrübeye dayanarak bazı fikirlerim oluştu. İyi bir araştırmacıyı tek bir maddeyle tanımlamıyorum. İyi bir araştırmacı olmak için iyi bir araştırma grubunun içinde yer almalısınız. Grup içerisindeki uyum ve iş bölümü çok önemli.

Kendi iş alanıma giren uygun profili birkaç madde halinde verebilirim:

* İyi araştırmacı öncelikle iyi mühendis olmalı. İyi mühendis ise donanım işleri için farklı, yazılım işleri için farklı tanımlanıyor. Donanım işleri için “Uygun fiyata, istenen fonksiyonu/işi yeterli duyarlılıkta ve en hızlı sürede gerçekleştirmek” iyi mühendislik özelliği olarak görülürken, gömülü yazılımcı için “donanımın hızını yavaşlatmayan, rasgele konumlarda takılıp kalmayan, bilinmeyen durumlarda kalındığında mutlaka belli bir duruma geri dönebilen, değişim kararı vermek için bir durumun oluştuğuna bir defada karar vermeyecek şekilde tasarım yapabilmek” önemli oluyor. Yazılımcılar için ise daha farklı bir tanım verilmeli.

* Genel olarak her mühendis için geçerli bazı kurallar da var. Çok ayrıntıya dalarak gereksiz özellikler için fazla zaman harcamak verimi çok düşürür. Özellikleri mükemmel olmasa bile, zamanından önce üç aşağı beş yukarı çalışan bir prototipi ortaya koymaktır mühendislik. Müşterinin önüne bu prototipi koyarak “daha iyisini” yapacağınıza ikna edebilirsiniz. Bunu yapmak tasarımcı olarak sizin elinizde olmayabilir, ancak yöneticilerin böyle konularda tasarım grubuna destek olması ve müşteriye işin devamı konusunda ikna etmesi önemlidir.

* İyi araştırmacı - patent vb. durumu yoksa - hazır çözümleri örnek almaktan kaçınmamalı. Özgün şeyler yapacağım diye çok basit ve çözülmüş teknik konuları yeniden keşfetmeye uğraşmayın.

* Mutlaka rakip ve eş değer ürünleri - çözümleri inceleyin. Gerekirse parasını verip alarak inceleyin. Sizin ufkunuzu genişletecektir emin olun.

* Bireysel davranmayın. Tek başına her şeyi halledemezsiniz. Grup olarak uyumlu çalışmak ve eksik, açıkta kalan nokta bırakmamak gerekir.

* Ayrıntılı tasarımdan önce iyi bir sistem mühendisliği çalışması ve eş değer ürün - çözüm incelemesi şarttır. Bu noktada “İyi bir araştırma grubu nasıl olmalı?” sorusuna cevap vermek gerekiyor. İyi bir araştırma grubu için öncelikle personelin halinden anlayan tecrübeli bir teknik yönetici gerekir. İkinci olarak grupta sistem mühendisi veya sistem mühendisliği yapabilecek tecrübeye uzman araştırmacıların bulunması gerekir. Sonrasında, tasarımı yapacak personelin yeterli sayıda ve tecrübeye olması lazım. Satın alma, test, asamblaj, üretime hazırlama, dokümantasyon, saha çalışmaları için en az birer kişinin görevlendirilmesinde fayda var. Günümüzde hiç bir çözüm sadece donanım veya sadece yazılımdan ibaret değil. Sunulan ürün veya çözümler hepsini de içeriyor artık. Ürün çözüm tasarlayan her tasarım grubunda en azından diğer paydaşlarla ara yüz görevi görecek sayıda donanımcı, gömülü yazılımcı, yazılımcı, algoritmacı vb. bulunmalı.

• Kariyerinizle ilgili biraz bilgi verebilir misiniz? Planladığınız doğrultuda mı geliştirdi? Önemli dönüm noktaları nelerdi?

Liseyi 1977 yılında bitirdikten sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Fakültesinde Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladım. 1982 yılında mezun olunca aynı fakültede Yüksek Frekans Tekniği Kürsüsünde Araştırma Görevlisi pozisyonuna kabul edilince profesyonel çalışma hayatım da başlamış oldu. Araştırma Görevlisi olarak çalışırken İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans da devam ettim. 1984 yılında yüksek lisans tamamladım. Askerlikten sonra 1985 yılı Ağustos ayında TELETAS'ta ARGE departmanında işe başladım. 2001 yılında AR-Ge departmanı kapatılana kadar 16 yıl orada AR-Ge personeli olarak çalıştım. Daha önce bahsettiğim gibi bir çok ilkleri yaşadım orada. TELETAS bizim nesil için üniversiteden sonra bir okul oldu adeta. Üniversite bitince kendinizi “mühendis” sanıyorsunuz. Ama çalışma hayatı başladığında, zorluklarla karşılaştığınızda anlıyorsunuz gerçekleri. Kendimi ancak 5 yıl sonra, tasarladığımız cihaz ürünleşip satılmaya başladığında mühendis olarak görmeye başladım. Bundan sonra tecrübe biriktirmeye başladım.

Çalışma hayatım planladığım yönde geliştirdi denemez. Lise yıllarında makina mühendisi olmayı istiyordum. Ancak nasipte Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği alanında çalışmak varmış demek ki. İlk dönüm noktası üniversite sınavı oldu o nedenle. İkinci dönüm noktası TELETAS'ın AR-Ge departmanında RF işleriyle uğraşan bir grupta donanımcı olarak işe başlamam oldu. Bu sayede radyo link ve RF alanına girmiş oldum.

Üçüncü dönüm noktası ise, 1989 veya 1990 yılıydı sanırım, bir gün acilen TELETAS üst yönetiminin bir toplantısına davet edildim. Odada Genel Müdür, Genel Müdür Yardımcısı, tüm Direktörler, Ar-Ge Müdürü, Üretim Müdürü, Kalite ve Test Müdürü, bizim bölüm müdürü ve ben varız. Konunun ne olduğunu anlamaya çalışıyorum kendimce. Genel Müdür Fikret Yücel Bey: “Tasarladığınız radyo link cihazında bir sıkıntı var. Müşteri cihazı bu haliyle almayacak. Senin de bu konuda bir çözümün olduğunu söyledi müdürün. Sana 2 hafta süre, başardın başardın, yoksa radyo link işini unutursunuz!” Bulduğum çözümün ne olduğunu bile sormadılar.

Yıllardır unutamadığım bu olayı kısaca anlatayım: TELETAS Ar-Ge radyo grubunda ülkemizde tasarlanan ve prototipi üretilen ilk yerli sayısal radyo link cihazımızın prototip kabulündeyiz. Testler bitmek üzere. Son olarak Servis Kanalı adını verdiğimiz ve sadece PTT operatörlerinin aralarında konuşup sohbet ettiği analog ses kanalında, kulakla hissedilmeyen, ancak ölçü aletiyle görülebilen, limitten bir iki desibel fazla gürültü ölçüldü. Bu durum tek müşterimiz olan PTT mühendislerini memnun etmemiştir. “Bu gürültüyü 3 dB azaltın, o zaman alalım” dediler. Biz tasarımın bu haliyle çözümün mümkün olmadığına ikna etmeye çalıştık müşteriyi ama dinletemedik. Çözüm için mecburen farklı yollar aramaya başladık. Durum hakikaten kötüydü bizim için. Servis kanalından sorumlu olan tasarımcı da bendim maalesef. Birkaç gün içinde çaresizce denemeler yapmaya başladım. “Farklı bir RF kanalından FM modülasyonu sesi iletirsem gürültüyü azaltabilir miyim?” diye düşünüp elimde bulunan RF modülleriyle yeni devreyi kurup isterlerin zor da olsa sağlandığını görmüştüm. Müdürümüze “Böyle bir değişiklikte sorunu çözebiliriz” şeklinde bilgi vermişim. Birkaç gün sonra da yukarıda bahsettiğim yönetim toplantısına çağırıldılar. Bir iki ay içinde bu değişikliği çok zor da olsa prototip sisteme uyguladık, müşterinin onayını aldık. Bu arada sistemin maliyeti neredeyse %25 arttı tabii. Ama ne gam, ürün satılır hale gelmiş, bizim grubun radyo link işine devam etmesine yönetim tarafından izin çıkmıştı.

• Uzun yıllardır Kurumumuzda çalışıyorsunuz. Devrimin yüksek olduğu bir iş alanında, burada kalmayı tercih etmeniz sebeplerini paylaşabilir misiniz?

Bizim nesil bir çok zorlukları yaşayarak AR-Ge'ci oldu. Donanım işi yapıyorsunuz, komponentlerin özellikleri yetersiz, baskı devreyi elle yapmak zorundasınız, parça listelerini elle yapmak zorundasınız, SMD komponent bile yok ortalıkta neredeyse. Her şeyden önemlisi internet yok... Bir konuda araştırma yapabilmek için kitap ve kütüphane bulabilirsiniz ne âlâ.

AR-Ge'ci olarak uzun yıllar özel sektör tecrübem var. Bu kuruma geldiğimde 40 yaşındaydım. Kamu kurumunda çalışmak gerçekten çok farklı. Önünüzde bir hedef varsa ve onun peşinde koşuyorsanız o işyerinde kalıcı oluyorsunuz. TELETAS'ta elde ettiğimiz bilgi birikimini ve tecrübeyi kullanarak kurumda da benzer işlere devam edebiliş

olmak, ilgilendiğiniz konuda Türkiye'de en tecrübeli grubun bir üyesi olmak işyeri değiştirmeyi engelliyor. Bunda grubun iç uyumu da çok önemli. Ayrıca belli bir tecrübeye gelmiş ve maddi beklentileri törpülenmiş olmanın da payı var tabii.

Öte yandan uzun süreli projelerin içinde yer almak ve sonunda projenin başarılı olarak tamamlanmış olması kalma motivasyonunu artırıyor.

Buradan yöneticilerimize de naçizane bir tavsiyede bulunmak isterim. Kurumda tecrübeli araştırmacıların sayısının artmasından rahatsızlık duyulmamalı. Onlar işi en iyi bilen alan uzmanlarıdır. Onlar yeni gelen personele öğretmenlik yaparlar. Onlar kurumun hafızalarıdır aynı zamanda. Onların kıymetini bilmek uygun şekilde yaralanmak ve daha uzun yıllar kurumda çalışmalarını teşvik etmek gerekir.

• Dergimizin hedef kitlesi arasında üniversite öğrencileri önde geliyor. Gençlere kariyer yolu ve genel olarak hayat yolculuğu ile ilgili neler tavsiye edersiniz?

Mühendis olacak gençlere tavsiyelerim şunlardır:

* Hangi alanda ve hangi işlerde çalışmak istediğinizi iyi düşünün ve karar verin. Kararsızlık başarıyı engeller.

* İyi mühendis olun. İyi mühendis olmanın yollarını arayıp bulun, tecrübeli mühendislerin görüşlerini alın. Soru sorun, bilen kişilere soru sormaktan çekinmeyin.

* AR-Ge personeli olacaksanız fedakârlık etmeyi bilmeniz gerekir. Zor işlere, problemlere hazırlıklı olmalısınız.

* Çok kişinin yönlendiği popüler işlere fazla itibar etmeyin. Hangi konuda yeteceğiniz merakınız varsa o konuda iş arayın. Size uygun iş bulduysanız maddi imkânları ön plana çıkartarak hemen iş değiştirmeye yönelmeyin. Unutmayın, sevdiğiniz işi yapıyor olmak daha çok para kazanmaktan önemlidir bana göre.

* Çok mecbur kalmadıysanız iş değiştirmeyin.

* Yurt dışında çalışmaya karşı değilim. Ancak sadece maddi imkânları daha iyi olduğu için yurt dışını tercih etmeyin. Her ortamın kendine göre bir zorluğu vardır. Kendinize uygun bir iş imkânı varsa yurt içinde çalışmak her bakımdan daha iyidir.

* Çalıştığınız iş yerinde daima uyumlu ve çalışkan bir personel olun. Uyumsuz kişiler gruplarda istenmezler.

* Çalıştığınız yerde size iş verilmesini beklemeyin. Siz işlerin peşinden koşun, “şu işi de ben yapmak istiyorum” deyin.

* Zor işlerden kaçmayın, kolaycı olmayın. Ağır kaldırırların zamanla daha güçlü olacağını unutmayın.

İğne

Bir kar tanesinin erimeden
önceki son saniyesi
Şimşegın çakmadan önceki
son sessizliđi
Oltaya bakan balığın gözündeki
son şüphesi
İşte bu sonlar yırtıyor
uzay-zaman birliđini
Ve şairlere kalıyor onu dikmesi

Onlar yapmasaydı eğer
bu görevi
Kara deliklere düşmekten
alamazdın kendini
Bu yüzden varsa yakınında
bir şair
Gidip teşekkür et, haydi,
hemen şimdi!

Dr. Umut Uludađ

Başuzman Araştırmacı / BİLGEM UEKAE



FODRAD

TÜBİTAK BİLGEM ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) ortaklığıyla geliştirilen, uçuş pisti üzerindeki yabancı madde kalıntılarını **(FOD) 7/24** otomatik tespit ederek uyarı veren bir mm-dalgı radar sistemidir.

FOD Tespit Sistemi

7/24
Otomatik
Gözetleme

mm-Dalgı Radar
ile Gerçek Zamanlı
FOD Tespiti ve Harita
Üzerinde Gösterim

Optik Sensör ile
Gece/Gündüz
FOD Görüntüleme

Tespit Durumunda
Sesli ve Görsel
Alarm Üretme

Tek Merkezden
Kontrol ve İzleme
Olanğı

Sürekli Veri/
Görüntü Kaydı ve
İstatistiksel
Raporlama

FAA
(AC150/5220-24
Advisory Circular)
Tavsiye Kriterlerini
Karşılayan Tasarım



Uluslararası Antalya Havalimanı



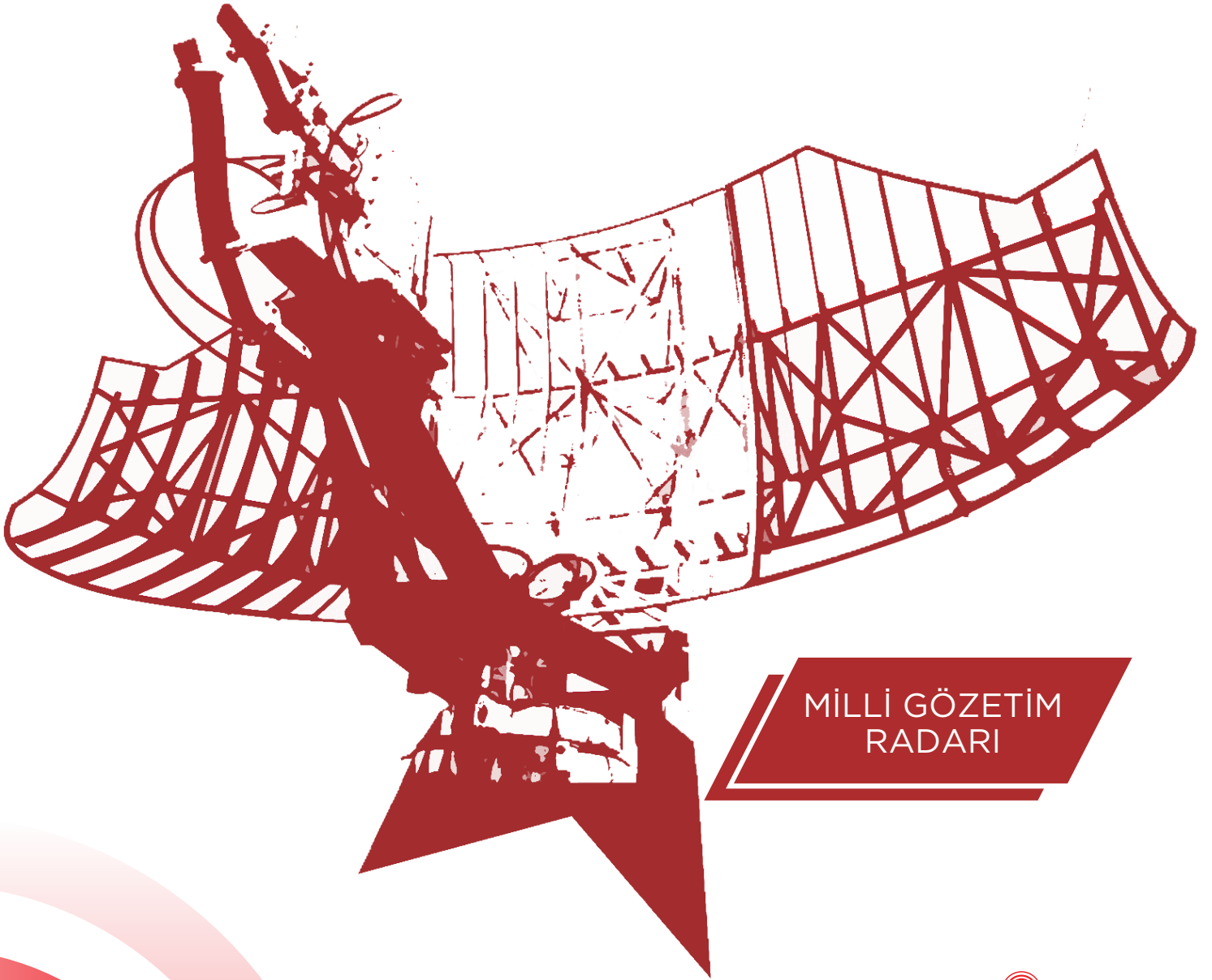
TÜBİTAK

BİLGEM

www.bilgem.tubitak.gov.tr



Milli Gözetim Radarı (MGR), TÜBİTAK BİLGEM ve Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI) iş birliği ile geliştirilmiştir. Sivil veya askeri hava trafik kontrolü ve yağış durumu belirleme amacıyla gerçekleştirilen bu temel gözetleme radar (PSR) sistemi bir S-bant Doppler katı hal darbe radarıdır.



MİLLİ GÖZETİM
RADARI



TÜBİTAK

BİLGEM

www.bilgem.tubitak.gov.tr